

ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

СЕРИЯ 1 СВЧ-ТЕХНИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Выпуск 1(524)

2015

Издается с 1950 г.

Главный редактор

д.т.н. А.А. Борисов

Редакционная коллегия:

д.т.н. **Б.Н. Авдонин** (зам. главного редактора, ОАО ЦНИИ «Электроника»),
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, **С.И. Гришин**, д.т.н. **А.Д. Закурдаев**, к.т.н. **Н.П. Зубков**,
д.т.н. **С.С. Зырин**, к.т.н. **В.И. Исюк** (ОАО «НИИПП»), к.т.н. **А.С. Котов**,
д.т.н. **В.П. Кудряшов** (ОАО «НПП «Алмаз»), д.т.н. **П.В. Куприянов**, к.т.н. **В.Г. Лапин**,
к.т.н. **В.В. Лисс**, д.т.н. **М.И. Лопин**, к.т.н. **Н.А. Лябин**, **В.М. Малышик**,
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. Мякинков**, д.ф.-м.н. **А.И. Панас** (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН),
д.ф.-м.н. **А.Б. Пашковский**, к.т.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. **В.Н. Уласюк** (ОАО «НИИ «Платан»), д.т.н., профессор **Н.Д. Урсуляк**

Журнал зарегистрирован Министерством Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций (свидетельство ПИ № ФС 77-24651 от 6 июня 2006 г.) и включен в перечень ВАК (перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук)

© АО «НПП «Исток» им. Шокина», 2015 г.

ELEKTRONNAYA TEKHNIKA

(Electronic Engineering)

SERIES 1 SVCH-TEKHNIKA

(Microwave Engineering)

COLLECTION OF RESEARCH & TECHNICAL ARTICLES

Issue 1(524)

2015

Founded in 1950 г.

Editor-in-chief

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

Editorial staff:

D.T.Sc. **B.N. Avdonin** (deputy editor-in-chief, JSC CSRI «Elektronika»),
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, **S.I. Grishin**, D.T.Sc. **A.D. Zakurdaev**, C.T.Sc. **N.P. Zubkov**,
D.T.Sc. **S.S. Zyrin**, C.T.Sc. **V.I. Isyk** (JSC «RPISC»), C.T.Sc. **A.S. Kotov**,
D.T.Sc. **V.P. Kudryashov** (JSC «RPC «Almaz»), D.T.Sc. **P.V. Kupriyanov**,
C.T.Sc. **V.G. Lapin**, C.T.Sc. **V.V. Liss**, D.T.Sc. **M.I. Lopin**, C.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. Mikhailchenkov** (MBD «Directorate of the Science Town» Fryazino),
D.T.Sc. **S.P. Morev** (FSUE «RPC «Torij»), **O.A. Morozov** (JSC «RPC «Magratep»),
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.T.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. **V.N. Ulasyuk** (JSC «RPC «Platan»), D.T.Sc., professor **N.D. Ursulyak**

The journal is registered by the Ministry on mass media of the Russian Federation (certificate ПИ № ФС 77-24651 dated June 6, 2006) and included in HCC list (a list of the leading reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of the theses nominated for doctoral and candidate's theses are to be published).

© JOINT STOCK COMPANY «RESEARCH AND PRODUCTION CORPORATION «ISTOK» named after A.I. Shokin»

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Попов Р.М.</i> – НИИ-160 – фронту.....	5
Твердотельная электроника	
<i>Андросов А.В., Куприянов П.В., Гутенко С.В., Лебедев К.В., Петров С.А., Кожин Е.С.</i> – Приёмопередающий модуль цифрового радиолокатора 8-мм диапазона длин волн	21
<i>Буторин В.М.</i> – Моделирование электродинамической системы генератора на коль- цевом полупроводниковом диоде.....	29
<i>Ющенко А.Ю., Айзеништат Г.И., Пласскеев А.А., Безрук А.В., Иващенко А.И., Фро- лова У.М., Федотова Ф.И.</i> – Контактные устройства для зондовых измерений СВЧ нитридгаллиевых усилителей мощности в импульсном режиме	40
Электровакуумные приборы	
<i>Азов Г.А., Ефремова М.В., Хриткин С.А.</i> – Оценка конструктивных параметров ос- новных узлов импульсной ЛБВ <i>W</i> -диапазона с выходной мощностью не менее 30 Вт.....	47
<i>Бакунин Г.В., Батраков А.А., Галдецкий А.В., Натура И.П., Ракова Е.А., Сапрын- ская Л.А., Соколова И.М., Чепурных И.П.</i> – Многолучевая "прозрачная" ЛБВ мил- лиметрового диапазона	54
Антенны	
<i>Перов В.В.</i> – Антенна двойной круговой поляризации СВЧ-локатора малой дистан- ции.....	68
Медицинская электроника	
<i>Ашанин И.А.</i> – Численное моделирование динамики пучка протонов в сверхпрово- дящем линейном ускорителе для протонной лучевой терапии.....	74

CONTENTS

<i>Popov R.M.</i> – NII-160 – to the front	5
Solid-state electronics	
<i>Androsov A.V., Kupriyanov P.V., Gutenko S.V., Lebedev K.V., Petrov S.A., Kozhin E.S.</i> – The transmit-receive module of 8-mm wavelength range radar	21
<i>Butorin V.M.</i> – Modeling of generator electrodynamic system on a ring semiconductor diode	29
<i>Yarmolenko M.I., Saranin D.S., Gablina L.V.</i> – Prediction of properties of vacuum-tight Ceramics for power and high-power microwave electrovacuum devices at fixed devia- tions in technological processes	40
Electrovacuum devices	
<i>Azov G.A., Yefremova M.V., Khritkin S.A.</i> – The assessment of design factors of <i>W</i> -range pulsed TWT reference nodes with an output power not less than 30 W	47
<i>Bakunin G.V., Batrakov A.A., Galdetsky A.V., Natura I.P., Rakova E.A., Saprynskaya L.A., Sokolova I.M., Chepurnyh I.P.</i> – Millimeter range multibeam "transparent" TWT	54
Antennas	
<i>Perov V.V.</i> – Double circular polarization antenna of microwave low distance locator	68
Mtdical electronics	
<i>Ashanin I.A.</i> – Numerical modeling of proton beam dynamics in superconducting linear accelerator for proton beam therapy	74

УДК 621.38(09)

НИИ-160 – фронту
Р. М. Попов
АО "НПП "Исток" им. Шокина", г. Фрязино

УДК 621.396.96

**ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ РАДИОЛОКАТОРА
8-ММ ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН**

А. В. Андросов, П. В. Куприянов
АО "НПП "Исток" им. Шокина", г. Фрязино
С. В. Гутенко, К. В. Лебедев, С. А. Петров
ОАО "НПК "Тристан", г. Москва
Е. С. Кожин
ОАО "ИНЭУМ им. И. С. Брука", г. Москва

Представлены результаты разработки приемопередающего модуля когерентной РЛС 8-мм диапазона длин волн. Рассмотрена структурная схема. Подробно описана конструкция изделия, построенная на основе субмодулей СВЧ. Особое внимание обращено на упрощение процесса комплексной регулировки. Даны основные параметры: выходная мощность – 1,5 Вт и коэффициент шума – 5 дБ. Приведены результаты натурных испытаний и соображения на перспективу.

КС: приёмопередающий модуль, когерентный радиолокатор, субмодуль СВЧ, цифровая АФАР

The results of development of transmit-receive module of 8-mm wavelength range coherent radar have been presented. The block diagram is considered. The product design built on the basis of microwave submodules is described in detail. The simplification of the complex adjustment process is focused on. The main parameters are given: output power 1.5 W and noise figure 5 dB. The results of full-scale tests and future prospects are shown.

Keywords: transmit-receive module, coherent radar, microwave submodule, digital active phased array

УДК 621.372.85, 621.373.5

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ГЕНЕРАТОРА НА КОЛЬЦЕВОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ ДИОДЕ**

В. М. Буторин
ЮЗГУ, г. Курск

Построена математическая модель в виде эквивалентной схемы внешней электродинамической системы генератора, состоящей из коаксиально-волноводного перехода с согласующим диском и элементами корпуса кольцевого полупроводникового активного элемента. При построении и расчете параметров эквивалентной схемы использовался принцип декомпозиции, при котором сложная система была разделена на более простые узлы. Для отдельных электродинамических узлов были решены в строгой электродинамической постановке трехмерные и двумерные векторные краевые задачи, выбраны эквивалентные схемы и рассчитаны параметры этих схем, а затем был произведен синтез общей эквивалентной схемы. При решении трехмерной задачи о коаксиально-волноводном переходе с согласующим диском на центральном проводнике коаксиальной линии использовался метод цилиндрических волн. Анализ результатов математического моделирования показал, что рассмотренная электродинамическая система обеспечивает необходимое согласование комплексного сопротивления кольцевого диода с прямоугольным волноводом во всей его рабочей полосе.

КС: математическая модель, генератор, коаксиально-волноводный переход, кольцевой полупроводниковый активный элемент, эквивалентная схема, декомпозиция, краевая задача, синтез

A mathematical model as an equivalent circuit of external electrodynamic generator system consisting of coaxial-waveguide junction with a matching disc and elements of a ring semiconductor active element has been constructed. While constructing and calculating the parameters of the equivalent circuit the decomposition principle was used at which the complex system was divided into more simple units. For separate electrodynamic units three-dimensional and two-dimensional vector boundary problems were solved in correct electrodynamic statement, equivalent circuits were chosen and parameters of these circuits were calculated with the following synthesis of the general equivalent circuit. When solving three-dimensional boundary problem with coaxial-waveguide junction and matching disc on the central conductor of the coaxial line the method of cylindrical waves was used. The analysis of mathematical modeling results has shown that the considered electrodynamic system provides the necessary coordination of complex re-sistance of the ring diode with a rectangular waveguide within its whole working band.

Keywords: mathematical model, generator, coaxial-waveguide junction, ring semiconductor active element, equivalent circuit, decomposition, boundary problem, synthesis.

УДК 621.317

КОНТАКТНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СВЧ НИТРИДГАЛЛИЕВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

**А. Ю. Ющенко, Г. И. Айзенштат, А. А. Пласкеев, А. В. Безрук,
А. И. Иващенко, У. М. Фролова, Ф. И. Федотова**

ОАО "НИИПП", г. Томск

Разработана технология и изготовлены с ее применением многоконтактные устройства для управления МИС, а также контактные устройства, совмещенные с модуляторами питания, для зондовых измерений усилителей СВЧ-мощности в импульсном режиме.

КС: контактное устройство, зондовая станция, СВЧ монолитная интегральная схема, импульсный модулятор питания, усилитель мощности

In this paper we present a method of contact devices manufacturing for probe measurements of microwave monolithic integrated circuits (MMIC). This method has been used to produce multi-contact devices for MMIC control. It also has been used to produce probe devices combined with integrated supply modulator for probe measurements of microwave power amplifiers in pulsed mode.

Keywords: DC probe, probe station, microwave monolithic integrated circuit, pulsed power modulator, power amplifier

УДК 621.385

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ИМПУЛЬСНОЙ ЛБВ W -ДИАПАЗОНА С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ НЕ МЕНЕЕ 30 Вт

Г. А. Азов, М. В. Ефремова, С. А. Хриткин

ОАО "Плутон", г. Москва

Представлены результаты численного моделирования замедляющей и электронно-оптической систем импульсной лампы бегущей волны W -диапазона с выходной мощностью не менее 30 Вт. В качестве замедляющей системы (ЗС) выбран "петляющий волновод". Определены конструктивные параметры ЗС. Рассчитана электронно-оптическая система прибора.

КС: лампа бегущей волны, замедляющая система, "петляющий волновод", коэффициент замедления, сопротивление связи, электронно-оптическая система, электронный пучок, электронная пушка

The results of numerical modeling of slow-wave and electron-optical systems of *W*-range pulsed travelling-wave-tube with an output power not less than 30 W have been presented. A folded waveguide was chosen as a slowing-wave structure (SWS). The SWS design factors were determined. The device electron-optical system was calculated.

Keywords: travelling-wave-tube, slowing-wave structure, folded waveguide, slowing factor, coupling resistance, electron-optical system, electron beam, electron gun

УДК 621.385.632

МНОГОЛУЧЕВАЯ "ПРОЗРАЧНАЯ" ЛБВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Г. В. Бакунин, А. А. Батраков, А. В. Галдецкий, И. П. Натура,
Е. А. Ракова, Л. А. Сапрынская, И. М. Соколова, И. П. Чепурных

АО "НПП "Исток" им. Шокина", г. Фрязино

Рассмотрен проект многолучевой низковольтной односекционной ЛБВ в *Ka*-диапазоне длин волн. Проанализированы возникающие проблемы и их решения. При напряжении питания 6 кВ и компактных размерах обеспечивается расчетная выходная мощность более 200 Вт.

КС: односекционная ЛБВ, многолучевой электронный поток, Ka-диапазон длин волн

A design of multibeam single-section TWT in *Ka* band is considered. Technical problems and possible solutions are analyzed. At power supply voltage 6 kV and compact dimensions it can provide output power 200 W in 1 GHz bandwidth.

Keywords: single-section TWT, multibeam electron beam, 8-mm wavelength range

УДК 621.396.677

АНТЕННА ДВОЙНОЙ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЧ-ЛОКАТОРА МАЛОЙ ДИСТАНЦИИ

В. В. Перов

ООО "СибИС", г. Новосибирск

Рассматривается конструкция двухвходовой полосковой антенны интегрального СВЧ-локатора малой дистанции с противоположными направлениями круговой поляризации излучения одного печатного вибратора. Приводятся результаты численного моделирования антенны с диэлектрическим защитным экраном.

КС: локатор малой дистанции, полосковая антенна, защитный экран, амплитудно-частотная характеристика, круговая поляризация, численное моделирование

The design of a two-port stripline antenna of integral microwave low distance locator with opposite directions of circular radiation polarization of one stripline vibrator has been considered. The results of numerical simulation of antenna with dielectric protective shield are given.

Keywords: low distance locator, stripline antenna, protective shield, amplitude-frequency characteristic, circular polarization, numerical simulation

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПУЧКА ПРОТОНОВ
В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ
ДЛЯ ПРОТОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

И. А. Ашанин

Национальный исследовательский ядерный университет – Московский инженерно-физический институт, г. Москва

Обсуждается выбор оптимальных параметров ускоряющих резонаторов и фокусирующих магнитов, представлены результаты численного моделирования динамики пучка протонов в сверхпроводящих линейных ускорителях на энергию от 2 до 240 МэВ, а также результаты численного моделирования при регулировке энергии.

КС: протонная терапия, линейный ускоритель, сверхпроводимость, численное моделирование, динамика пучка

The choice of optimal parameters of accelerating resonators and focusing magnets is being discussed. The results of numerical modeling of proton beam dynamics in superconducting linear accelerators for 2...240 MeV energy as well as the results of numerical modeling at energy adjustment are given.

Keywords: proton therapy, linear accelerator, superconductivity, numerical modeling, beam dynamics