

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Министерство цифрового развития государственного управления,
информационных технологий и связи Республики Татарстан
Академия наук Республики Татарстан
Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
Уфимский университет науки и технологий

VI НАУЧНЫЙ ФОРУМ «ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ» ТТТ-2023

XX Международная
научно-техническая конференция
«ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ»
ФиТПВП-2023

ТОМ 3

22 – 24 ноября 2023 г., Казань

Казань 2023

УДК 621.391

ББК 32.811

Н 34

**VI НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ:
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2023. Физика и технические приложения волновых процессов ФиТПВП-2023:** материалы XX Международной научно-технической конференции. Казань, 22 – 24 ноября 2023 года. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2023. – Т. 3. – 252 с.

ISBN 978-5-7579-2690-2 (Т. 3)

ISBN 978-5-7579-2689-6

Содержатся материалы докладов по наиболее актуальным проблемам современной физики волновых процессов и их техническим приложениям в СВЧ, КВЧ и оптическом диапазонах: общая теория волновых процессов, мета- и наноструктуры, передача и обработка информации в радиотехнических системах, устройства СВЧ, антенны, распространение радиоволн, электромагнитная совместимость. Оптические сети связи и радиофотоника, устройства и системы электропитания, инновационные системы.

Представленные материалы докладов охватывают широкий спектр научных направлений, их использование будет способствовать развитию антенных теорий, микроволновых технологий и систем различного назначения и радиофотоники в Российской Федерации, Поволжском регионе и Республике Татарстан, а также вузовской науки, расширению связей между ведущими отечественными и зарубежными образовательными, научными и производственными центрами.

Редакционная коллегия: *Бобрешов А.М.*, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Бузов А.Л.*, д-р техн. наук, проф.; *Веденькин Д.А.*, канд. техн. наук, доц.; *Воловач В.И.*, д-р техн. наук, проф.; *Вороной А.А.*, канд. физ.-мат. наук; *Дементьев А.Н.*, д-р техн. наук, доц.; *Дмитриков В.Ф.*, д-р техн. наук, проф.; *Ильинский А.С.*, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Карташевский В.Г.*, д-р техн. наук, проф.; *Кашин А.В.*, д-р техн. наук, проф.; *Клюев Д.С.*, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Морозов Г.А.*, д-р техн. наук, проф.; *Морозов О.Г.*, д-р техн. наук, проф.; *Нещерет А.М.*, д-р физ.-мат. наук; *Никитов С.А.*, академик РАН, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Онищук А.Г.*, д-р техн. наук, проф.; *Осинов О.В.*, д-р ф.-м. наук, доц.; *Полянский И.С.*, д-р ф.-м. наук; *Потапов А.А.*, д-р ф.-м. наук, проф.; *Раевский А.С.*, д-р техн. наук, проф.; *Ружников В.А.*, канд. техн. наук, доц.; *Смирнов Ю.Г.*, д-р физ.-мат. наук, проф.; *Соколова Ю.В.*, канд. физ.-мат. наук, доц.; *Усков Г.К.*, д-р физ.-мат. наук, доц.

Ответственные секретари оргкомитета: *Коробков А.А.*, к.т.н., доц.; *Веденькин Д.А.*, к.т.н., доц., *Иванов А.А.*, к.т.н., доц.

УДК 621.391

ББК 32.811

ISBN 978-5-7579-2690-2 (Т. 3) © Авторы, перечисленные в содержании, 2023

ISBN 978-5-7579-2689-6 © Изд-во КНИТУ-КАИ, 2023

СПОНСОРЫ НАУЧНОГО ФОРУМА ТТТ-2023



ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПОНСОРЫ НАУЧНОГО ФОРУМА ТТТ-2023



СЕКЦИЯ 1

**ОБЩАЯ ТЕОРИЯ
ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

УДК 536.8, 519.6

**СХЕМА ПОВЫШЕННОГО ПОРЯДКА
АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ
ГЕМОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

Анисимова И.В., Игнатов А.А., Фаст Я.А.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Исходя из макроуравнений сплошной среды, дифференциальная краевая задача гемодинамической модели однокамерного сердца простейших организмов, поставленная в области $D = [0; 1]$, имеет вид [1]:

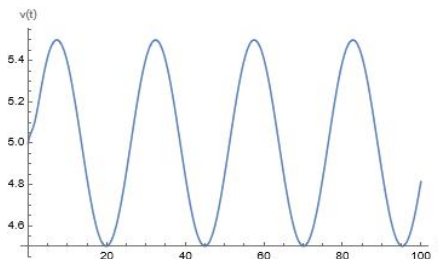
$$Lv_j = I_j \frac{d^2 v_j}{dt^2} + r_j \frac{dv_j}{dt} + \frac{v_j}{C_j} - (p_j(t) - p_j^{\text{ext}}(t)) = 0;$$
$$v_j(0) = A_j, v_j(1) = B_j, \quad j = 1, 2, 3, 4. \quad (1)$$

В системе (1) макроуравнения тепломассопереноса относятся к типу обыкновенных дифференциальных уравнений с малым параметром при старшей производной. Для их решения была построена схема повышенного порядка аппроксимации (СПП), которая имеют меньшую аппроксимационную вязкость по сравнению с классическими разностными схемами [2]:

$$L_n v_n = \left(I + \frac{r^2 h^2}{12I} \right) \lambda_{xx} v_n + r \lambda_x v_n + \frac{v_n}{C} - P_n = 0, \quad n = 1, 2, \dots, N;$$
$$v_0 = A, v_{N+1} = B. \quad (2)$$

Численное решение задачи (2) осуществлялось методом прогонки в пакете прикладных программ Wolfram Mathematica:

Рис. 1. График изменения среднего объема сердечной камеры



Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ и Кабинета Министров Республики Татарстан в рамках научного проекта №23-21-10008 <https://rscf.ru/project/23-21-10008>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анисимова, И.В., Игнатьев В.Н.* К вопросу о численном решении одной гемодинамической модели сердечной камеры / Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2022. – Т. 78, № 3. – С. 19-24. – EDN LNRCLR.

2. *Игнатьева, И.В.* О некоторых численных алгоритмах решения приближенных и полных уравнений Навье-Стокса: специальность 01.02.05 «Механика жидкости, газа и плазмы»: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук / Игнатьева Ирина Викторовна. – Чебоксары, 1998. – 20 с. – EDN ZKSEQV.

HIGH-ORDER APPROXIMATION SCHEME FOR NUMERICAL SOLUTION OF A HEMODYNAMIC MODEL

Anisimova I.V., Ignatov A.A., Fast Y.A.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

In this work, for the numerical solution of the hemodynamic model of the operation of the cardiac chamber, a high-order approximation scheme was first proposed and tested. This scheme allows you to reduce the time and volume of calculations in contrast to classical difference schemes by taking into account the approximation viscosity.

УДК 537.876.46

ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ ГЕТЕРОГЕННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ВЛАЖНОЙ ПОЧВЫ

Безлюдников К.О., Алышев Ю.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Почва по своей природе имеет случайную структуру и случайное распределение влаги внутри нее. Кроме того, согласно МСЭ-R P.527-4 2017 г., разные типы почв по-разному поглощают и удерживают влагу. Тогда почву, по аналогии с метаматериалом, можно представить как двух или четырехкомпонентную гетерогенную среду [1], состоящую из отдельных контейнеров – сухой почвы и воды, если два компонента, и влажной почвы и пустот, если четыре компонента.

В данной работе предлагается физическая реализация такой модели с целью экспериментального определения уровней отражения от такой структуры. Экспериментальная модель представляет собой трехмерную матрицу, каждая ячейка которой – это пластиковый контейнер определенного размера с одним из компонентов гетерогенной структуры, диэлектрические характеристики которого известны. Влияние пластика как еще одного диэлектрического компонента исключается, если принять матрицу с пустыми контейнерами как начало системы отсчета.

Основной целью работы являлось решение задачи детерминирования экспериментальной модели почвы. Смешивание воды и сухой почвы всегда носит случайный характер или для равномерного распределения влаги требуются определенные физические усилия, что также не дает гарантии равномерности. Это сказывается на уровнях отражения электромагнитных волн, которые повторяют случайный характер смешивания [2]. В предлагаемой модели влажность почвы определяется отношением количества контейнеров с водой к количеству контейнеров с влажной почвой с поправкой на массу контейнеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин, Д.Н., Осипов О.В., Безлюдников К.О. Расчет отражений плоской электромагнитной волны линейной поляризации от границы раздела «воздух – влажная почва» на основе гетерогенных моделей Максвелла Гарнетта и Бруггемана // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2022. – Т. 25. – № 2. – С. 22-27.

2. Безлюдников К.О., Альшеев Ю.В. Методика дистанционного определения влажности почвы в корнеобитаемом слое // Студенческая научная конференция (г. Самара, 14-29 марта 2023 г.). – Самара: Изд-во ПГУТИ, 2023. – 288 с.

DETERMINISTIC HETEROGENEOUS EXPERIMENTAL MODEL OF MOIST SOIL

Bezlyudnikov K.O., Alyshev Yu.V.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

In this paper, a physical implementation of such a model is proposed in order to experimentally determine the levels of reflection from such a structure. The experimental model is a three-dimensional matrix, each cell of which is a plastic container of a certain size with one of the components of a heterogeneous structure, the dielectric characteristics of which are known. The influence of plastic as another dielectric component is excluded if we take a matrix with empty containers as the beginning of the reference frame.

РЕФРАКТОМЕТР НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА-ЦЕНДЕРА

Жуков С.В., Топоркова Л.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Схема рефрактометра представлена на рис. 1.

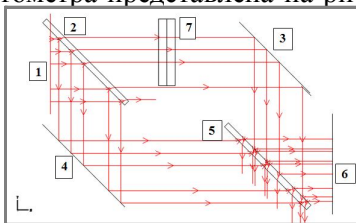


Рис. 1. Принципиальная схема рефрактометра:

- 1 – источник света; 2 – делитель светового потока (SPLITTER);
3 – измерительное зеркало (составное из трех частей); 4 – поворотное зеркало;
5 – делитель светового потока (SPLITTER); 6 – детектор, образец

Координаты максимумов и минимумов находятся из соотношения $y_m = m\lambda/\sin\alpha$. Отсюда расстояние между максимумами или минимумами одинаково и равно [1]:

$$\Lambda = \lambda/\sin\alpha \approx \lambda/\alpha.$$

Основным новшеством в схеме рефрактометра является составное зеркало 3, состоящее из трех частей. На рис. 2 представлен вид составного зеркала и вид интерференционных картин, возникающих на нем.

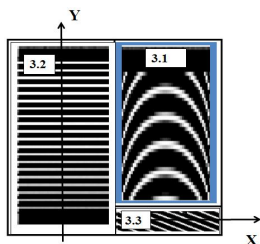


Рис. 2. Схема рефрактометра:
зеркало 3.1 – измерительное зеркало;
3.2 – определяет масштаб шкалы рефрактометра;
3.3 – определяет масштаб поперечного сечения объекта

Использование данного прибора позволяет проводить измерения показателя преломления с точностью до 10^{-5} . Такая точность необходима при измерениях в оптических волокнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комарова, Е.О.* Сборник статей компьютерного моделирования оптических систем / Е.О. Комарова, Ю.Ю. Мункина, С.В. Жуков. – Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2016. – 70 с.

REFRACTOMETER BASED ON THE MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER

Zhukov S.V., Toporkova L.V.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

Changes in the scheme of a refractometer based on the Mach-Zehnder interferometer are considered.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ НА РЕЗОНАНСНЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ

Жуков С.В., Топоркова Л.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

С помощью программы MathCAD рассмотрено влияние разности потенциалов на резонансный туннельный эффект (РТЭ) в двухслойной гетероструктуре $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As} - \text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ заключенной между областями GaAs.

Были определены зависимости коэффициентов отражения и прохождения энергии электрона от 0 до 2 эВ, при двух прямоугольных потенциальных барьерах шириной 5 нм.

На рис. 1 приведены результаты расчетов в MathCAD. Существуют некоторые значения энергии электрона меньше высоты потенциального барьера, определяемого расстоянием между барьерами, при котором коэффициент прохождения D равен единице [1].

Графики зависимости квадратов волновых функций от энергии электрона представлены ниже (рис. 2).

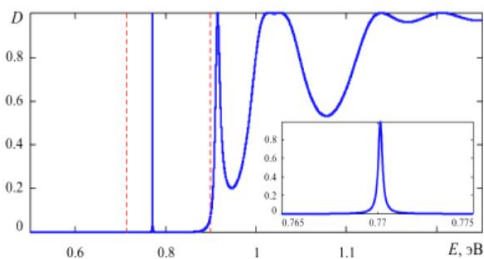


Рис. 1

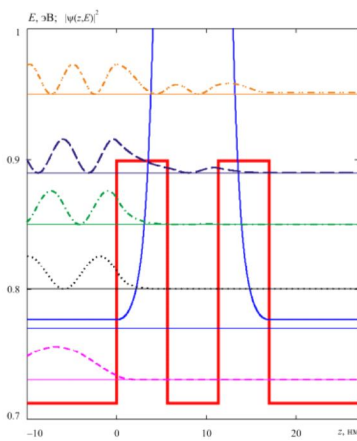


Рис. 2

Таким образом, методика расчетов слоистых наноструктур в программе MathCAD имеет большие перспективы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков, С.В. Влияние расстояния между потенциальными барьерами на резонансный туннельный эффект // XXX Российская научно-техническая конференция «Актуальные проблемы информатики, радиотехники и связи». – Самара, 2023. – 101 с.

THE EFFECT OF ELECTRON ENERGY ON RESONANT TUNNEL EFFECT

Zhukov S.V., Toporkova L.V.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

The effect of the potential difference on the resonant tunneling effect (PTE) in a two-layer heterostructure $\text{Al}_{0,15}\text{Ga}_{0,85}\text{As}$ – $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ enclosed between GaAs regions is considered.

УДК 528.88

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ**

Панин Д.Н., Мамошина Ю.С.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Интеллектуальное прогнозирование влажности почвы становится возможным благодаря анализу различных типов данных, включая данные дистанционного зондирования, метеорологические данные и информацию о состоянии почвы [1]. Данные дистанционного зондирования в микроволновом диапазоне позволяют измерять влажность почвы на глубине, обеспечивая более точное и актуальное представление о ее состоянии. Метеорологические данные, такие как температура, влажность воздуха и скорость ветра, помогают определить, как погода влияет на влажность почвы, и позволяют прогнозировать изменения в погодных условиях. Информация о состоянии почвы, такая как содержание органических веществ, рН и содержание питательных веществ, помогает определить, какие действия следует предпринять для улучшения состояния почвы и поддержания ее плодородия. Методы прогнозирования, такие как статистические модели, машинное обучение и нейронные сети, используются для создания моделей, которые позволяют прогнозировать влажность почвы в будущем на основе анализа этих данных. Эти модели используются для создания интеллектуальных систем прогнозирования, которые обеспечивают эффективное управление водными ресурсами и оптимизацию сельскохозяйственного производства.

Преимуществами использования интеллектуальных систем прогнозирования влажности почвы являются повышение эффективности использования водных ресурсов, снижение экологичес-

кого риска, связанного с неправильным управлением водными ресурсами, и оптимизация сельскохозяйственного производства за счет определения оптимальных сроков посева, сбора урожая и внесения удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ahmed, A.A.M. et al.* Deep learning forecasts of soil moisture: convolutional neural network and gated recurrent unit models coupled with satellite-derived MODIS, observations and synoptic-scale climate index data //Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – №. 4. – Pp. 554.

INTELLIGENT SYSTEMS FOR FORECASTING SOIL MOISTURE BASED ON ANALYSIS OF REMOTE SENSING DATA

Panin D.N., Mamoshina Yu.S.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

The paper describes intelligent soil moisture forecasting systems based on the analysis of remote sensing data, which play a key role in optimizing agricultural production and efficient management of water resources. The benefits of using such systems include increased efficiency, reduced environmental risk and optimized use of water resources.

**ДИСПЕРСИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
И ПАРАМЕТРА КИРАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРОИЗВОЛЬНОГО
ПРОВОДЯЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ЗЕРКАЛЬНО
АСИММЕТРИЧНОЙ ФОРМЫ**

Кузнецов Я.М., Осипов О.В., Панин Д.Н.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В большинстве случаев киральный метаматериал представляет собой совокупность однородного диэлектрического контейнера и зеркально асимметричных элементов (компонент) [1]. Данные элементы имеют зеркально асимметричную формы. Они равномерно размещаются и хаотически ориентируются в диэлектрическом контейнере [2]. В данной работе рассмотрен произвольный проводящий элемент, обладающий зеркально асимметричной пространственной конфигурацией. Зеркально асимметричный элемент представляет собой проводящую проволоку (полоску), образующую трех (двух) мерную линию, на которой есть криволинейные участки и «витки». Криволинейные участки можно трактовать как электрические диполи, а «витки» как магнитные диполи. Произвольный киральный элемент представляет собой связанную совокупность электрических и магнитных диполей. Поскольку киральный элемент представляет собой суперпозицию электрического и магнитного элементарных диполей, разность потенциалов определяется как электрическим полем, создаваемым зарядами на концах спирали, так и переменным магнитным полем, пронизывающим витки спирали. С использованием материальных уравнений для киральной среды получены дисперсионные зависимости диэлектрической проницаемости и параметра киральности, которые можно записывать в следующем виде:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_c + \frac{\Omega_\varepsilon \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}, \quad \chi(\omega) = \frac{\Omega_\chi \omega_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega},$$

где ϵ_c – относительная диэлектрическая проницаемость контейнера; ω_0 – резонансная частота кирального элемента (определяется из квазистатической модели для конкретного типа элемента); γ – частота демпфирования; Ω_c – «сила» резонанса диэлектрической проницаемости; Ω_χ – «сила» резонанса параметра киральности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Caloz, C., Sihvola, A.* Electromagnetic Chirality. P. 1: The Microscopic Perspective [Electromagnetic Perspectives] // IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2020. – Vol. 62. – №1. – Pp. 58-71.

2. *Кузнецов, Я.М., Панин, Д.Н.* Расчет коэффициентов отражения плоской электромагнитной волны линейной поляризации от слоя кирального метаматериала, расположенного на идеально проводящей плоскости по гетерогенной модели Максвелла Гарнетта // Радиотехника. – 2022. – Т. 86. – № 6. – С. 30-36.

DISPERSION DEPENDENCES OF DIELECTRIC CONTINUITY AND CHIRALITY PARAMETER FOR AN ARBITRARY CONDUCTING ELEMENT WITH A MIRROR ASYMMETRICAL SHAPE

Kuznetsov Ya.M., Osipov O.V., Panin D.N.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

In this work, analytical expressions are obtained for the dispersion dependences of the dielectric constant and the chirality parameter for an arbitrary conducting element of a mirror-asymmetric shape.

ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТОНКИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ НА ГРАНИЦЕ ЗОЛОТО-ВОЗДУХ ПО СХЕМЕ ОТГО

Бородина И.И., Яцышен В.В.

(Волгоградский государственный университет)

В настоящей работе рассмотрено применение спектроскопии плазменного резонанса ([1]) для диагностики тонких полупроводниковых пленок. Использовалось золото, диэлектрическая проницаемость которого на длине волны $\lambda = 633$ нм является комплексной с отрицательной действительной частью $\epsilon_3 = -11,86 + 1,2i$.

На рис. 1 представлен угловой спектр энергетических коэффициентов отражения в следующих случаях: RRp – только слой металла; RRpX – тонкий полупроводниковый слой на поверхности металла.

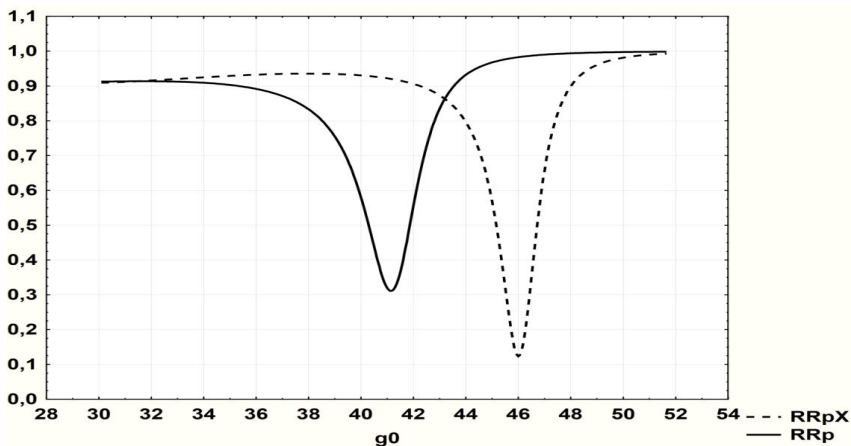


Рис. 1. Угловой спектр отражения

Параметры расчета: толщина воздушного зазора $d = 0,4$ мкм, толщина исследуемого объекта $da = 0,035$ мкм. Из него видно, что расстояние между минимальными (в случае отражения) пиками составляет около 5° и наглядно демонстрирует сенсорные возможности метода возбуждения поверхностных плазмонов при диагностике тонких пленок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яцышен, В.В.* Методы наноплазмоники в угловой спектроскопии наноразмерных биологических объектов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 111-115.

OPTICAL DIAGNOSTICS OF THIN SEMICONDUCTOR FILMS USING SURFACE PLASMONS AT THE GOLD-AIR BOUNDARY ACCORDING TO THE OTTO SCHEME

Borodina I.I., Yatsyshen V.V.

(Volgograd State University)

This paper discusses the use of plasmon resonance spectroscopy for the diagnosis of thin semiconductor films. We carried out calculations for a large number of films from various semiconductor materials and obtained results for angular spectra similar to Fig. 1, which confirms the exceptional accuracy of materials diagnostics using the plasmon resonance method.

**К СРАВНЕНИЮ СКОРОСТИ И ТОЧНОСТИ
ФРАКТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО
ХАОСА РАСПОЗНАВАНИЯ СТАДИЙ СНА
СОМНОГРАФИЧЕСКИМ УСТРОЙСТВОМ**

*Мачихин В.А.¹, Никольская Ю.В.², Антипова Т.А.³,
Захаров А.В.³, Кисляев А.С.¹, Пичугина П.Г.⁴,
Морева Д.Д.⁵, Поляков В.А.³*

*(¹Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики,*

²ДЮСШ ОР «ИКАР» (Россия, Саров),

³Самарский государственный медицинский университет»,

⁴Пензенский государственный университет,

*⁵Нижегородский политехнический университет
им. Р.Е. Алексева)*

Нарушения сна в современном мире включают и заболевания, ухудшающие качества жизни человека, адекватная профилактика которых, включая организацию режима сна, питания, отдыха и тренировочного процесса, спортивных занятий, невозможна без проведения объективного полиграфического исследования сна. Сомнограф позволяет в полном объеме решать задачи как клинической сомнологии, так и оптимизацию задачи индивидуального подхода к обеспечению учебно-тренировочного процесса в том числе у детей и подростков.

Возможности аппаратной части комплекса: регистрация: электроэнцефалограммы, электромиограммы и электроокулограммы в процессе ночного сна для идентификации стадии и фаз сна; расчет амплитудно-частотных характеристик зарегистрированных потенциалов; анализ временных параметров стадий сна.

В дополнительной мобильной части комплекса использовался многофункциональный монитор для определения ЧСС, использующий

электрокардиографический канал, включающий устройство выделения QRS-комплексов ЭКГ и обработку значений длительностей RR-интервалов.

Правильность работы программы проверялась путем сравнения результатов ее работы с результатами других авторов [1,2]. Для реализации вычислений методами фрактального анализа на компьютере авторами была дополнительно модифицирована разработанная ранее программа с использованием среды Borland C++ Builder [2].

Используемые методы фрактального анализа, включая и метод Хигучи, после возможной дополнительной временной нормировки достаточно эффективен на практике.

Методы апромасимационной энтропии и МЛБС использовались без особых изменений и с вдвое меньшими по длине временными рядами, и тогда они были всего лишь в 5,6 и 2,565 раза медленнее метода показателя Хёрста соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Антипов, О.И., Захаров, В.А., Неганов, В.А.* Особенности применения фрактальных мер детерминированного хаоса к автоматизированному распознаванию стадий сна при полисомнографии // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2012. – Т. 15. – № 3. – С. 101-109.

2. *Антипов, О.И., Повереннова, И.Е., Неганов, В.А., Захаров, А.В.* Программа автоматического распознавания стадий сна: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614865 от 31.05.2012 г.

3. *Захаров, Е.С., Кравченко, П.П., Скоморохов, А.А.* О решении задачи классификации стадий сна // Вестник компьютерных и информационных технологий. – Москва: Машиностроение, 2000. – № 5. – С. 48-53.

**TO COMPARISON OF SPEED AND ACCURACY
OF FRACTAL METHODS OF DETERMINISTIC CHAOS
OF SLEEP STAGES RECOGNITION BY SOMNOGRAPHIC
DEVICE**

***Machikhin V.A.¹, Nikolskaya Y.V.², Antipova T.A.³,
Zakharov A.V.³, Kislyayev A.S.¹, Pichugina P.G.⁴, Moreva D.D.⁵,
Polyakov V.A.³***

*(¹Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics,*

²MBI AE «Sports school "TKAR"»,

³Samara State Medical University, ⁴Penza state University,

*⁵Nizhny Novgorod State Technical University
named after R.E. Alekseev)*

The possibilities of the hardware part of the complex are given: electroencephalograms, electromyograms and electro-oculograms during night sleep for identification of sleep stages and phases, calculation of amplitude-frequency characteristics of registered potentials; analysis of time parameters of sleep stages.

УДК 612.014.425

**МАГНИТОБИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
В НОРМИРОВАНИИ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ДОЗ
ХРОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОСТОЯННОГО
МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

*Слободянюк И.Л.¹, Кисляев А.С.², Мачихин В.А.²,
Пичугина П.Г.³, Никольская Ю.В.⁴, Антипова Т.А.⁵,
Кисляев С.Е.⁶, Захаров А.В.⁵*

*(¹Фитнес клуб МТЛ-Арена, ²Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и информатики,
³Пензенский государственный университет,
⁴ДЮСШ ОР «ИКАР» (Россия, Саратов),
⁵Самарский государственный медицинский университет,
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)*

Проблема биологического воздействия постоянного магнитного поля достаточно актуальна, возрастает значение и острота восприятия ее. Решение проблемы возможно в результате комплексного подхода, как в области экспериментальных исследований воздействия отражающих степень влияния постоянного магнитного поля (ПМП) на организм животных, так и математического моделирования. Комплексный математический подход, включая и системный многофакторный анализ (СМФА) изучения биотропных параметров на морфофункциональное состояние коры надпочечников, тимуса позволяет определить наиболее информативные показатели на действие ПМП низкой напряженности с течением времени.

Определить наиболее информативные показатели на основе коэффициентов влияния, позволяющих отразить степень выраженности ответной реакции каждой из морфологических систем организма биообъекта при 30- и 90-суточном воздействии фактора

с интенсивностями 10,15 мТл при 30- и 90-суточных воздействиях при использовании их в магнито биологических исследованиях. Эксперименты проводили на беспородных белых крысах и мышах (самцах), весом от 160-250 г в осеннее-зимний период. Изучено 2875 препаратов тимуса и надпочечников в различных сериях (по количеству биообъектов) и алгоритма проведения магнитобиологического эксперимента.

Используя системный многофакторный анализ (в двух вариантах в исследовании на математических моделях, позволило оценить характер изменений морфофункционального состояния исследуемых гисто-морфофункциональных препаратов объектов при определении дозы воздействия нормированного ПМП. Была показана и высокая чувствительность коры надпочечников (10 мТл) к реактивным изменениям во всех зонах коры надпочечников: в серии 15 мТл выраженность показателя проницаемости гемососудистого барьера по Б.Н. Жукову (1985) на 10-е сутки эксперимента в тимусе.

Выбор оценки морфофункциональных изменений в коре надпочечников, конечном звене гипоталамус-гипофиз-кора надпочечников в математической модели, и применения СМФА является составной частью общего ответа организма на воздействие ПМП в хроническом эксперименте продолжительностью 180 суток в соответствии с обнаруженными изменениями морфофункционального состояния коры надпочечников в ответ на воздействие ПМП предельно допустимого уровня. Величина магнитной индукции 10 мТл и экспозиции 4 часа подтверждает предельно допустимый уровень воздействия на биообъект (пациент, рабочий) в соответствии с эколого-гигиеническими требованиями современной магнитобиологии. По определенной величине коэффициентов влияния в СМФА наиболее влияющие на морфофункциональное состояние коры надпочечников при воздействии ПМП различных биотропных параметров – ширина зоны, объем клеток, ПЯО, активность СДГ и ЛДГ. Эти показатели могут использоваться для оценки морфофункционального состояния коры надпочечников в медико-биологических исследованиях и разработки устройств стимуляции коры головного мозга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мачихин, В.А., Березин, И.И., Палеха, А.В., Антипова, Т.А., Подсобляев, К.Ю., Пичугина, П.Г.* Влияние постоянного магнитного поля на эндокринные железы биологического объекта (нормализация, системный многомерный анализ // Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. – Самара: Изд-во ПГУТИ, 2020. – С. 248-249.

MAGNETOBIOLOGICAL EXPERIMENT IN RATIONING OF MAXIMUM PERMISSIBLE DOSES OF CHRONIC EXPOSURE TO PERMANENT MAGNETIC FIELD

Slobodyanyuk I.L.¹, Kislyayev A.S.², Machikhin V.A.², Pichugina P.G.³, Nikolskaya Y.V.⁴, Antipova T.A.⁵, Kislyayev S.E.⁶, Zakharov A.V.⁵

(¹Fitness club MTL-Arena, ²Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics, ³Penza state University, ⁴MBI AE «Sports school "TKAR"», Samara State Medical University, ⁶Samara National Research University named after S.P. Korolev)

A comprehensive mathematical approach, including systemic multifactor analysis (SMFA) of studying biotropic parameters on the morphofunctional state of the adrenal cortex is considered.

УДК 621.396.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АМ-МОДУЛЯЦИИ НА МАТЕРИАЛЬНУЮ СРЕДУ В РЕЗОНАТОРНОЙ СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ

Астафьев А.Г., Валиев И.Р., Самигуллин Р.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Для исследования влияния амплитудно-модуляционных (АМ) параметров воздействующего сигнала [1] на объект обработки был задан коэффициент модуляции [2,3] во временном решателе в программном продукте электродинамического моделирования. Также для упрощения последующего анализа моделирование проводилось при нескольких ограничениях: во-первых, максимальная мощность сигнала была ограничена 10 ваттами, при этом моделирование проводилось при коэффициентах модуляции k , равными 0.1, 0.2, 0.3, ..., 1; во-вторых, для более качественной оценки влияния АМ-сигнала на объект исследования были дополнительно выставлены «мониторы» поля внутри объекта, что позволило наиболее полно и точнее определить распределение мощности потерь в объеме объекта исследования; в-третьих, модель объекта исследования задавалась однородной с одинаковыми электрофизическими параметрами во всем объеме. Время обработки было выбрано 10 минут.

После оценки потерь в объеме исследуемого объекта был проведен анализ результатов распределения функции потерь (нагрева) в объеме на разных коэффициентах модуляции.

В докладе представлены результаты моделирования и анализа распределения функции потерь в объекте исследования при различных коэффициентах АМ-модуляции.

Исходя из полученных данных, при моделировании можно сделать вывод о том, что при контроле коэффициента модуляции АМ микроволнового сигнала появляется возможность регулировки мощности, попадающей в среду обработки электронным способом. При

этом можно добиться более плавных, оптимальных режимов распределения электромагнитного поля в среде обработки, а также появляется возможность для «информационного» воздействия на объект исследования, что может быть предположительно применено в различных областях народного хозяйства – в биомедицине, медицине, сельском хозяйстве и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анфиногентов, В.И., Морозов, Г.А., Морозов, О.Г., Сахабутдинов, А.Ж.* Моделирование управляемого СВЧ-нагрева // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 7-12.

2. *Морозов, Г.А., Анфиногентов, В.И., Морозов, О.Г., Самошин, Р.Э., Самигуллин, Р.Р.* Адаптивные микроволновые технологические комплексы для обработки жидких смесей // Вопросы электротехнологии. – 2015. – № 3 (8). – С. 23-30.

3. *Самигуллин, Р.Р., Морозов, О.Г., Морозов, Г.А., Веденькин, Д.А., Насыбуллин, А.Р.* СВЧ-анализаторы фракционного состава сырой нефти: анализ состояния, определение направлений, методов и средств совершенствования // Вопросы электротехнологии. – 2014. – № 3 (4). – С. 49-56.

SIMULATION OF THE IMPACT OF AM MODULATION ON THE MATERIAL ENVIRONMENT IN A RESONATOR PROCESSING SYSTEM

Astafiev A.G., Valiev I.R., Samigullin R.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The report presents the results of modeling and analysis of the distribution of the loss function in the object of study at various AM modulation coefficients.

УДК 621.396.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧМ-МОДУЛЯЦИИ НА МАТЕРИАЛЬНУЮ СРЕДУ В РЕЗОНАТОРНОЙ СИСТЕМЕ ОБРАБОТКИ

Красных В.В., Орлов Н.И., Самигуллин Р.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

При частотной модуляции несущий сигнал является более высокочастотным по отношению к информационному сигналу и при этом амплитуда частотно-модулированного (ЧМ) сигнала является неизменной.

В моделировании задавались и оценивались основные параметры ЧМ-сигнала [1] в программном продукте электродинамического моделирования – девиация частоты (отклонение) и индекс модуляции. Девиация частоты изменяется в пределах от 10 до 100 МГц в зависимости от индекса модуляции. Мощность постоянна $P = 10$ Вт. Индекс модуляции m при этом изменялся от 0,1 до 1 с шагом 0,1 [2,3] (рис. 1).

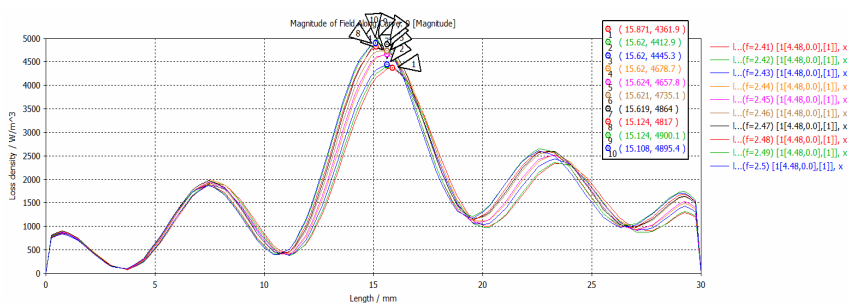


Рис. 1. График распределения потерь мощности в объеме объекта при индексе модуляции $m = 0,1, 0,2, \dots, 1$

В докладе представлены результаты моделирования и анализа распределения функции потерь в объекте исследования при различных индексах ЧМ-модуляции.

Из полученных данных можно сделать однозначный вывод о том, что при изменении индекса модуляции ЧМ микроволнового сигнала можно регулировать мощность, попадающую в среду обработки. При этом также появляется возможность для «информационного» воздействия на объект исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анфиногентов, В.И., Морозов, Г.А., Морозов, О.Г., Сахатдинов, А.Ж.* Моделирование управляемого СВЧ-нагрева // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 7-12.

2. *Морозов, Г.А., Анфиногентов, В.И., Морозов, О.Г., Самошин, Р.Э., Самигуллин, Р.Р.* Адаптивные микроволновые технологические комплексы для обработки жидких смесей // Вопросы электротехнологии. – 2015. – № 3 (8). – С. 23-30.

3. *Самигуллин, Р.Р., Морозов, О.Г., Морозов, Г.А., Веденькин, Д.А., Насыбуллин, А.Р.* СВЧ-анализаторы фракционного состава сырой нефти: анализ состояния, определение направлений, методов и средств совершенствования // Вопросы электротехнологии. – 2014. – № 3 (4). – С. 49-56.

SIMULATION OF THE IMPACT OF FM MODULATION ON THE MATERIAL ENVIRONMENT IN A RESONATOR PROCESSING SYSTEM

Krasnykh V.V., Orlov N.I., Samigullin R.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The report presents the results of modeling and analysis of the distribution of loss function in the object of research with various coefficients of the FM modulation index.

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ЛАБОРАТОРНОГО СВЧ-КОМПЛЕКСА ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛЬНЫХ СРЕД

Жуков В.Е., Самигуллин Р.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Вопросами построения оптимальных комплексов занимались многие авторы (например [1-4]). Анализ их работ показывает, что выбор оптимальности сильно зависит от конкретных решаемых задач, в которых в основном определяющим являются применение высокоинтенсивного ЭМП, т.е. основываются на подходе применения энергии ЭМП СВЧ в обработке с позиции передачи энергии. По мнению авторов, такое применение для задач типа «информационного» электродинамического воздействия нецелесообразно.

Проанализировав структуры построения комплексов обработки, в том числе и лабораторного назначения, было решено перейти на структуру, приведенную на рис. 1. При этом генератор может быть реализован на базе полупроводниковых приборов (диод, транзистор, специализированная микросхема, микроконтроллер).

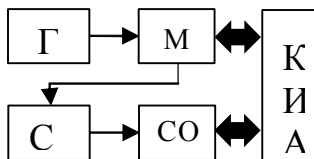


Рис. 1. Структурная схема СВЧ-комплекса:

Г – генератор; М – модулятор; СЗ – система защиты; СО – система обработки;
КИА – контрольно-измерительная аппаратура

В качестве модулятора на данном этапе было решено рассматривать амплитудный и частотный, а в качестве изменяемого и контролируемого параметра – коэффициент модуляции и индекс модуляции соответственно. Система обработки – закрытый резонатор. На

данном этапе проведен обзор схемотехнических решений генераторов, модуляторов, систем согласования, защиты и обработки, а также нескольких вариантов построения КИА на базе микроконтроллера или ПК (программное управление). Более подробные результаты анализа будут представлены в докладе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анфиногентов, В.И., Морозов, Г.А., Морозов, О.Г., Насыбуллин, А.Р., Самигуллин, Р.Р., Шакиров, А.С.* Выбор оптимальной структуры построения СВЧ-комплекса обработки терморезистивных композитных материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1 (2). – С. 525-528.

2. *Анфиногентов, В.И., Морозов, Г.А., Морозов, О.Г., Сахабутдинов, А.Ж.* Моделирование управляемого СВЧ-нагрева // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 7-12.

3. *Морозов, Г.А., Анфиногентов, В.И., Морозов, О.Г., Самошин, Р.Э., Самигуллин, Р.Р.* Адаптивные микроволновые технологические комплексы для обработки жидких смесей // Вопросы электротехнологии. – 2015. – № 3 (8). – С. 23-30.

4. *Самигуллин, Р.Р., Морозов, О.Г., Морозов, Г.А., Веденькин, Д.А., Насыбуллин А.Р.* СВЧ-анализаторы фракционного состава сырой нефти: анализ состояния, определение направлений, методов и средств совершенствования // Вопросы электротехнологии. – 2014. – № 3 (4). – С. 49-56.

DEVELOPMENT OF MEANS OF LABORATORY MICROWAVE COMPLEX PROCESSING OF MATERIAL MEDIA

Zhukov V.E., Samigullin R.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This report represents an analysis of the instruments for microwave complexes realizing the «information» electrodynamic effect on material mediums.

УДК 517.9

ЗАДАЧА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕОДНОРОДНОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТЕЛА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Липич А.О., Медведик М.Ю.

(Пензенский государственный университет)

Рассмотрим задачу определения диэлектрической проницаемости внутри тела по результатам измерения электромагнитного поля за пределами тела. Источник падающего поля находится за пределами.

В работе [1] предложен двухшаговый метод, позволяющий свести рассматриваемую нелинейную задачу к решению интегрального уравнения первого рода и формуле пересчета. Для решения данного уравнения использовался проекционный метод с кусочно-постоянными базисными функциями (элементами). Основная сложность данной задачи заключается в плохой обусловленности системы линейных алгебраических уравнений. Этот подход позволял решать обратную задачу на прямоугольных расчетных сетках порядка $10 \times 10 \times 10$ элементов.

Для решения описанной проблемы предлагается использовать методику переопределения задачи, вводя дополнительные элементы с пересекающимися носителями. В результате значение на одном носителе рассчитывается не в одной точке, а в целой серии, т.е. используются сплайны нулевого порядка с различными носителями.

Данная процедура позволяет эффективно решать интегральные уравнения первого рода на телах и экранах без роста чисел обусловленности у матриц (что было опробовано авторами на серии различных электромагнитных и акустических задач). Задачи удается решить в очень широком диапазоне частот, в частности, в мега- и гигагерцевом диапазоне. Многочисленные эксперименты показали восстановление функции диэлектрической проницаемости с высокой точностью. Метод также оказался устойчив к внесению погрешнос-

тей. Еще одним преимуществом подхода является улучшенная аппроксимация границ тела. На рис. 1 и приведены результаты решения поставленной задачи на теле с размером расчетной сетки $20 \times 20 \times 20$ элементов. Тело – куб со стороной 15 см, падающее поле это точечный источник, расположенный выше центра тела на 30 см, частота – 130 МГц.

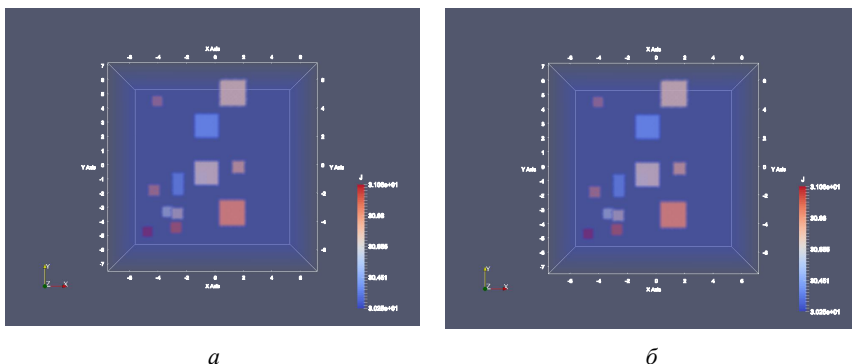


Рис. 1. Исходная (а) и восстановленная (б) функции диэлектрической проницаемости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Medvedik, M.Yu., Smirnov, Yu.G. and Tsupak, A.A.* Two-Step Method for Solving Inverse Problem of Diffraction by an Inhomogeneous Body // *Nonlinear and Inverse Problems in Electromagnetics, PIERS 2017, St. Petersburg, Russia, May 22 – 25, Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, 2018.* – Pp. 83-92.

THE PROBLEM OF RESTORING THE CHARACTERISTICS OF AN INHOMOGENEOUS DIELECTRIC BODY BASED ON THE RESULTS OF ELECTROMAGNETIC FIELD MEASUREMENTS

Lapich A.O., Medvedik M.Y.

(Penza State University)

Let's consider the problem of determining the dielectric function $\hat{\varepsilon}(y)$ inside the body $Q \in R^3$ based on the results of measuring the electromagnetic field outside the body. Outside the body Q , dielectric is constant $\varepsilon = \varepsilon_0$. The source of incident field is outside \bar{Q} .

УДК 517.9

ЗАДАЧА ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТЕЛЕ С НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ

Липич А.О., Медведик М.Ю.

(Пензенский государственный университет)

Исследование посвящено проблеме построения поля внутри неоднородного тела (рис. 1). Предлагаем метод построения нелинейности Керра внутри волновода. Источником излучения является некоторый точечный источник, расположенный за пределами тела. Предположим, что тело Q может быть однородным или неоднородным. Такой подход может быть полезен в нанотехнологиях и наноэлектронике.

Задача сводится к решению интегрального уравнения

$$\mathbf{E}^{(0)}(x) = \mathbf{E}_0(x) + (k_0^2 + \text{grad div}) \int_Q G(x, y) \left(\frac{\varepsilon(y)}{\varepsilon_0} - 1 \right) \mathbf{E}^{(0)}(y) dy. \quad (1)$$

В работе рассматриваются двухшаговые явный и неявный методы задания нелинейности. Для неявного метода [1] решаем интегральное уравнение (1) при однородных начальных значениях и вычисляем поле $\mathbf{E}^{(0)}(x)$. На последующих шагах пересчитываем значения волновой функции. Процесс построения нелинейного поля определяется по итерационной формуле Керра

$$\varepsilon_{n+1}(x) = \varepsilon_1 + \alpha |\mathbf{E}^{(n)}(x)|^2 \dots$$

Далее решаем уравнение

$$\mathbf{E}^{(n+1)}(x) = \mathbf{E}_0(x) + (k_0^2 + \text{grad div}) \int_{\varrho} G(x, y) \left(\frac{\varepsilon(y, \mathbf{E}^{(n)}(y))}{\varepsilon_0} - 1 \right) \times \\ \times \mathbf{E}^{(n+1)}(y) dy.$$

Процесс повторяется до достижения требуемой точности. Задача рассматривается в частотной области, т.е. зависимость всех полей и источников от времени принимается в виде $\exp(-i\omega t)$.

Формула пересчета для явного метода записывается в виде:

$$\mathbf{E}^{(n+1)}(x) = \mathbf{E}_0(x) + (k_0^2 + \text{grad div}) \int_{\varrho} G(x, y) \left(\frac{\varepsilon(y, \mathbf{E}^{(n)}(y))}{\varepsilon_0} - 1 \right) \times \\ \times \mathbf{E}^{(n)}(y) dy.$$

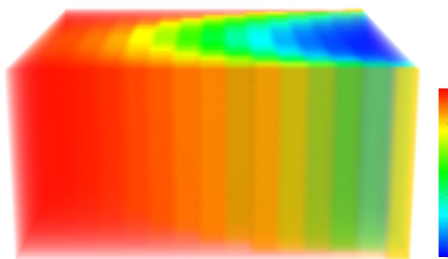


Рис. 1. Значения поля на теле

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 20-11-20087).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Lapich, A.O., Medvedik, M.Yu.* Method of Volume Singular Equations for Solving a Nonlinear Problem of Diffraction a Semi-Infinite Rectangular Waveguide // *Lobachevskii Journal of Mathematics.* – 2023. – Vol. 44. – № 9. – Pp. 4027-4032.

**THE PROBLEM OF DIFFRACTION
OF AN ELECTROMAGNETIC WAVE ON A DIELECTRIC
BODY WITH NONLINEARITY
IN A RECTANGULAR WAVEGUIDE**

Lapich A.O., Medvedik M.Y.

(Penza State University)

The study is devoted to the problem of constructing an inhomogeneity field inside the body. The body Q is located in the rectangular waveguide. We propose a method for constructing the nonlinearity of Kerr in the waveguide. The source of radiation is some point located outside the body. We assume the body Q can be homogeneous or inhomogeneous. It can also have a composite structure.

That approach can be useful in nanotechnology and nanoelectronics.

**СИСТЕМА ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧЕ
О РАСПРОСТРАНЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН
В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ СТЕРЖНЕ,
ПОКРЫТОМ ГРАФЕНОМ**

Смирнов Ю.Г., Москалева М.А., Снегур М.О.

(Пензенский государственный университет)

Рассматривается математическая модель регулярной (вдоль оси Oz), открытой волноведущей структуры, поперечное сечение которой с плоскостью $z = \text{const}$ образовано ограниченной областью Ω_1 с гладкой границей Γ . Пусть неограниченная область Ω_2 является дополнением в \mathbf{R}^2 к Ω_1 . Пространство заполнено двумя однородными изотропными диэлектриками с относительной диэлектрической проницаемостью ε_j в области Ω_j ; $\text{Re}\varepsilon_j > 0$, $\text{Im}\varepsilon_j \geq 0$, $\mu_j = 1$, ($j = 1, 2$). Будем считать, что Γ – бесконечно тонкий слой графена с (комплексной) проводимостью $\sigma \neq 0$ лежит на проекции поверхности соприкосновения диэлектриков. Проводимость нелинейно зависит от электромагнитного поля по закону Керра в терагерцевом и инфракрасном диапазоне частот.

Задача о нормальных волнах волноведущей структуры состоит в отыскании нетривиальных решений однородной системы уравнений Максвелла в виде бегущей волны, т.е. с зависимостью e^{-iyz} от координаты z , вдоль которой структура регулярна.

Пусть $G_j^{\text{II}}(x, y, x_0, y_0)$, $G_j^{\text{IV}}(x, y, x_0, y_0)$ – функции Грина соответственно первой и второй краевой задачи для уравнений Гельмгольца (1) с коэффициентами \tilde{k}_j^2 в области Ω_j ; $j = 1, 2$. Тогда задачу можно свести [1] к решению системы интегральных уравнений:

$$\gamma S_1 \varphi + \gamma S_2 \varphi + \tilde{k}_1^2 L_1 \chi + \tilde{k}_2^2 L_2 \chi + i\sigma \chi = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\gamma^2}{\tilde{k}_1^2} T_1 \varphi + \frac{\gamma^2}{\tilde{k}_2^2} T_2 \varphi + \gamma L_1 \chi + \gamma L_2 \chi + \frac{\varepsilon_1}{\tilde{k}_1^2} H_1 \varphi + \frac{\varepsilon_2}{\tilde{k}_2^2} H_2 \varphi + i\sigma \varphi = 0, \quad (2)$$

где операторы определяются формулами

$$S_j \varphi := \int_{\Gamma} \frac{\partial G_j^{\Psi}(x, y, x_0, y_0)}{\partial \tau_0} \Big|_{\Gamma} \varphi(t_0) dl_0, (x, y) \in \Gamma;$$

$$L_j \chi := \int_{\Gamma} G_j^{\Psi}(x, y, x_0, y_0) \Big|_{\Gamma} \chi(t_0) dl_0, (x, y) \in \Gamma;$$

$$T_j \varphi := \frac{\partial}{\partial \tau} \int_{\Gamma} \frac{\partial G_j^{\Psi}(x, y, x_0, y_0)}{\partial \tau_0} \Big|_{\Gamma} \varphi(t_0) dl_0, (x, y) \in \Gamma;$$

$$H_j \varphi := \frac{\partial}{\partial n} \int_{\Gamma} \frac{\partial G_j^{\Psi}(x, y, x_0, y_0)}{\partial n_0} \Big|_{\Gamma} \varphi(t_0) dl_0, (x, y) \in \Gamma,$$

т.е. рассматриваются следы на Γ интегралов, стоящих в правых частях.

Рассматриваем эти операторы в пространствах

$$L_j : H^{-1/2}(\Gamma) \rightarrow H^{1/2}(\Gamma), S_j : H^{1/2}(\Gamma) \rightarrow H^{1/2}(\Gamma),$$

$$H_j, T_j : H^{1/2}(\Gamma) \rightarrow H^{-1/2}(\Gamma).$$

Все перечисленные операторы в указанных пространствах являются ограниченными.

В линейном случае (если проводимость равно нулю) задача имеет дискретный спектр, отвечающий нормальным волнам волноведущей структуры [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-11-20087).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов, Ю.Г.* О фредгольмовости системы интегральных уравнений в задаче о распространении электромагнитных волн в стержне, покрытом графеном // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2023. – № 3. – С. 12-19.

ASystem of Integral Equations in the Problem of Electromagnetic Wave Propagation in a Graphene-Coated Dielectric Rod

Smirnov Yu.G., Moskaleva M.A., Snegur M.O.

(Penza State University)

The problem of propagation of electromagnetic waves in a dielectric rod of arbitrary cross-section covered with a layer of graphene, which is considered infinitely thin, is considered. The main problem in describing the process of wave propagation in the waveguiding structure is to obtain and analyze the system of integral equations to determine propagation constants. Maxwell's equations are solved in the frequency domain. The coupling conditions contain the conductivity of graphene. In this article, we neglect the nonlinearity of graphene. The method of Green's functions is applied. The system of integral equations for determining the propagation constants is obtained. The Fredholm property of the system and the discreteness of the spectrum of the problem are proved.

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
МОНОХРОМАТИЧЕСКИХ СВЯЗАННЫХ ТЕ-ТЕ-ВОЛН
В ПЛОСКОМ НЕЛИНЕЙНОМ ВОЛНОВОДЕ,
ЗАПОЛНЕННОМ МЕТАМАТЕРИАЛОМ**

Кондырев О.В., Мартынова В.Ю., Тихов С.В.

(Пензенский государственный университет)

Рассмотрим электромагнитную волну $(\mathbf{E}, \mathbf{H})e^{-i\omega t}$:

$$\mathbf{E} = (0, E_y(x)e^{i\gamma z}, E_z(x)e^{i\gamma z})^T;$$

$$\mathbf{H} = (H_{x1}(x)e^{i\gamma z} + H_{x2}(x)e^{i\gamma z}, H_y(x)e^{i\gamma z}, H_z(x)e^{i\gamma z})^T \quad (1)$$

есть комплексные амплитуды [1]; ω – круговая частота; γ – неизвестный параметр, распространяющийся в плоском экранированном волноводе $\sum = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq h, (y, z) \in \mathbf{R}^2\}$.

Диэлектрическая проницаемость внутри волновода есть

$$\varepsilon = \begin{pmatrix} * & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_1 + \alpha_2 E_y^2 + \alpha_1 E_z^2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_2 + \alpha_1 E_z^2 + \alpha_2 E_y^2 \end{pmatrix},$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2 < 0$, $\alpha_1, \alpha_2 > 0$ есть постоянные, а элемент * не влияет на распространение волны. Такой тензор отвечает тензорному Керровскому эффекту [1]. Скалярный случай является одним из основных нелинейных законов в нелинейной оптике [2].

Поле (1) удовлетворяет уравнениям Максвелла

$$\text{rot } \mathbf{H} = -i\omega\varepsilon\mathbf{E}, \quad \text{rot } \mathbf{E} = i\omega\mu_0\mathbf{H},$$

где μ_0 – магнитная постоянная.

Касательные компоненты E_y и E_z электрического поля обращаются в нуль на идеально проводящих стенках. Считаем, что значе-

ние $|\mathbf{H}|^2$ на границе $x = 0$ известно и равно $C > 0$. Кроме того, справедливо следующее

$$|\mathbf{H}|_{x=0}^2 = (H_y^2 + H_z^2)|_{x=0} = \frac{1}{\omega\mu_0^2} \left((E'_y)^2 + (E'_z)^2 \right) \Big|_{x=0}.$$

Задача состоит в нахождении постоянной распространения электромагнитной монохроматической связанной ТЕ-ТЕ-волны γ и значений $E'_y(0)$, $E'_z(0)$ таких, что существует поле \mathbf{E}, \mathbf{H} , удовлетворяющее условиям выше, и $(E'_y(0))^2 + (E'_z(0))^2 = C\omega\mu_0^2$.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-71-00020, <http://rscf.ru/project/22-71-00020/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boardman, A.D., Egan, P., Lederer, F., Langbein, U., Mihalache, D. Third-Order Nonlinear Electromagnetic TE and TM Guided Waves // Elsevier sci. Publ. North-Holland, Amsterdam London New-York Tokyo, 1991, reprinted from Nonlinear Surface Electromagnetic Phenomena, Eds. H.-E. Ponath and G. I. Stegeman.

2. Boyd, R.W. Nonlinear Optics, 2nd Edition // Academic Press, New York and London, 2003.

ELECTROMAGNETIC MONOCHROMATIC COUPLED TE-TE WAVES PROPAGATION IN A PLANE NONLINEAR WAVEGUIDE FILLED WITH METAMATERIAL

Kondyrev O.V., Martynova V.Yu., Tikhov S.V.

(Penza State University)

The paper focuses on the ability of propagation of monochromatic coupled TE-TE waves in a plane dielectric waveguide filled with anisotropic nonlinear medium having metamaterial properties. The existence of propagation constants and eigenmodes of the considered waveguiding structure is proved.

УДК 621.396.6

ПРОЦЕСС ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МУЛЬТИФОКУСИРОВКИ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ

Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В настоящее время практически неизвестны работы в области сфокусированных электромагнитных полей, рассматривающие одновременное формирование сфокусированного электромагнитного поля с несколькими максимумами напряженности полей [1-3]. Их свойства, количественные оценки и особенности реализации практически не исследованы.

В данной работе проведено исследование процесса мультифокусировки в зоне ближнего излученного поля, для чего было выполнено математическое моделирование линейной сфокусированной антенной решетки. Максимум напряженности электромагнитного поля формируется за счет сложения фаз полей всех источников излучения. Эффект мультифокусировки достигается путем разделения излучателей антенной решетки на группы. Причем первая группа излучателей антенной решетки фокусировалась в одну точку, вторая – в другую и т.д.

В результате моделирования определено, что при фокусировке в одну точку наблюдается один максимум напряженности электромагнитного поля и области с ненулевыми значениями боковых лепестков. При фокусировке в N точек появляются N максимумов, а уровень результирующего поля и его боковых лепестков уменьшается с увеличением расстояния между точками фокусировки.

Таким образом, учитывая возможность реализации такой мультифокусировки в зоне ближнего излученного поля, можно найти ряд новых применений для решения задач в областях медицины, промышленности и телекоммуникациях, а также улучшить уже существующие варианты применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин, Д.А.* Мультифокусированные антенные решетки с формирующими излучениями, полученными по методу Ильина-Морозова // *Электроника, фотоника и киберфизические системы*. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 23-27.

2. *Веденькин, Д.А., Филареева, И.Д., Макарова, Д.Г.* Элементарный излучатель для антенной решетки, сфокусированной в зоне ближнего излученного поля // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2018. – № 3(39). – С. 67-75.

3. *Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А.* Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. – 2015. – Т. 18. – № 3-1. – С. 23-30.

SPACE MULTIFOCUSING PROCESS IN THE NEAR-FIELD RADIATED ZONE

Gilfanova A.F., Vedenkin D.A.

*(Kazan national research technical university
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This paper presents a study of the process of space multifocusing in the near-field radiated zone. A mathematical model is developed to estimate the main properties and features of electromagnetic fields at the focusing points depending on their location.

УДК 621.396.6

СФОКУСИРОВАННЫЕ АНТЕННЫ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А.

*(Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В настоящее время исследование систем, работающих в области ближнего излученного поля, все больше привлекают внимание современных авторов. Это обусловлено тем, что у таких систем существует возможность применения в различных областях жизни человека.

Так, сфокусированные антенны в задачах микроволновых технологий используются в промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Большинство традиционных приложений характеризуются высокой интенсивностью электромагнитного поля, например, сушка материалов, разогрев, процессы размораживания, обжига материалов, приготовления пищи и т. д. Низкоинтенсивные микроволновые технологические процессы используются для различных стимулирующих эффектов воздействия электромагнитного поля. Также существует возможность применения в предпосевной обработке почвы, гипертермии, процессах стерилизации, процессах разрушения конструкций, когда мощность сконцентрируется внутри объекта обработки.

При решении ряда технических задач возникает необходимость обнаружения и определения местоположения объектов. Применение сфокусированных антенн в радиолокации позволяет решить ряд задач подповерхностного зондирования природных или искусственных сред (георадары), обнаружение мин, радиоволновый контроль промышленных изделий и ряд других. Возможно применение в радиотехнических приложениях, например, в составе аппаратуры беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Кроме того, одной из перспективных областей использования сфокусированных полей является медицинская диагностика, а имен-

но радиотермометрия, основу которой составляет регистрация собственного радиотеплового излучения биологических объектов.

В заключение отметим, что использование эффекта фокусировки в зоне ближнего излученного поля открывает ряд возможностей для улучшения технических показателей аппаратуры микроволновых технологий, радиотехнических устройств в составе наземной аппаратуры радиосвязи, в частности перспективных беспилотных авиационных комплексов, а также радиометрической аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведынкин, Д.А., Седельников, Ю.Е. Сфокусированные антенны в задачах неразрушающего радиоволнового контроля // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – № 2. – С. 131-146.

2. Ведынкин, Д.А. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2007. – № 5. – С. 36.

FOCUSED ANTENNAS IN THE NEAR-FIELD RADIATED ZONE AND THEIR APPLICATIONS

Gilfanova A.F., Vedenkin D.A.

*(Kazan national research technical university
named after A.N. Tupolev-KAI)*

A variety of promising applications of the focused antenna principle in radio wave diagnostics and radio communications are described.

УДК 004.421.5

ФАЗИРОВАННЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ В ЗАДАЧАХ РАДИОЛОКАЦИИ

Гильфанова А.Ф., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Радиолокация это одна из ключевых технологий, предназначенная для обнаружения, идентификации и отслеживания объектов в воздухе, на море и на суше [1]. Бортовая радиолокационная станция (БРЛС) играет ключевую роль в авиации и является неотъемлемой частью бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО). Она также предназначена для определения расстояния до этих объектов, оценки их размеров и расчета параметров движения. Для этих приложений становится актуальным обнаружение нескольких целей, так как возникает необходимость формирования нескольких максимумов диаграммы направленности (пространственная мультифокусировка) [2].

Например, это применяется в реальном самолете МиГ-31, который одновременно отслеживает до 24 целей и позволяет наводить оружие на 6 целей. В этом истребителе установлен радар с пассивной фазированной антенной решеткой (ФАР) (рис. 1), позволяющей быстро сканировать сигнал в широком угловом диапазоне и мгновенно переключаться между различными направлениями. Это обеспечивает возможность эффективного электронного сканирования. Пассивная ФАР имеет один приемник и передатчик, а также множество элементов-фазовращателей.

Таким образом, регулируя фазу волны в каждой точке, можно добиться требуемой плоскости волнового фронта и, соответственно, необходимого направления луча. Более того, стационарная антенна может вращать луч во всех направлениях, изменяя диаграмму направленности антенны.



Рис. 1. Фазированная антенная решетка

Преимущества очевидны: возможность сопровождения и подсветки нескольких целей одновременно за счет быстрого переключения луча с одной цели на другую. Именно это отличает Миг-31, который может отслеживать несколько целей одновременно и наводить на них полуактивные ракеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведынкин, Д.А., Седельников, Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2008. – Т. 11. – № 4. – С. 40-46.
2. Седельников, Ю.Е., Ведынкин, Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Т. 18. – № 3-1. – С. 23-30.

PHASED ANTENNA ARRAYS IN RADAR APPLICATIONS

Gilfanova A.F., Kuryanova E.A., Lifareva D.D.

*(Kazan national research technical university
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This paper presents radar problems and an overview of phased antenna array.

НЕКОГЕРЕНТНЫЕ АНТЕННЫ, СФОКУСИРОВАННЫЕ В ЗОНЕ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧЕННОГО ПОЛЯ

Гильфанова А.Ф., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Для фокусировки энергии в локальной области очень важно знать координаты частичных излучателей. Иногда можно использовать глобальные навигационные спутниковые системы, такие как ГЛОНАСС или GPS, но их точность недостаточна для некоторых приложений. Эта проблема может быть решена с помощью методов некогерентных сфокусированных антенных решеток [1].

Фокусировка электромагнитного поля может быть достигнута за счет использования временного сдвига излучаемой электромагнитной энергии каждого частичного излучателя пропорционально расстоянию от излучателя до точки фокусировки.

Принцип работы некогерентной антенной решетки заключается в том, что отдельные элементы антенной решетки в разное время излучают радиосигналы в виде коротких импульсов (не более нескольких наносекунд) [2]. Временное распределение излучаемых импульсов построено таким образом, что в заданной точке пространства – фокусе – происходит одновременное действие всех излучаемых сигналов. Пример такой когерентной антенной решетки показан на рис. 1.

С практической точки зрения, интерес представляет оценка размера области фокусировки, в пределах которой значение напряженности поля близко к максимальному (эта величина аналогична понятию ширины антенны).

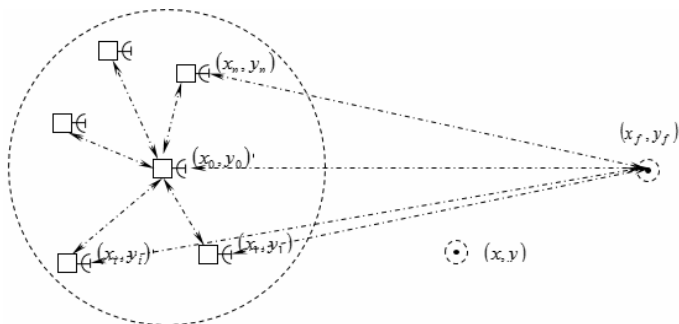


Рис. 1. Пример некогерентной сфокусированной антенной решетки

Для анализа использовался метод прямого численного моделирования, который заключается в проведении серии расчетов значений определяемых параметров на основе своей математической модели с последующей обработкой численных экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин, Д.А., Седельников, Ю.Е. Сфокусированные антенны в задачах неразрушающего радиоволнового контроля // Системы управления, связи и безопасности. – 2023. – № 2. – С. 131-146.
2. Веденькин, Д.А. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2007. – № 5. – С. 36.

INCOHERENT ANTENNAS FOCUSED IN THE NEAR-FIELD ZONE

Gilfanova A.F., Kuryanova E.A., Lifareva D.D.

*(Kazan national research technical university
named after A.N. Tupolev-KAI)*

In this paper, the principle of operation of an incoherent antenna array is considered.

СЕКЦИЯ 2

МЕТА- И НАНОСТРУКТУРЫ

УДК 537.876.46

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОМОГЕННОЙ МОДЕЛИ
КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ
ОСНОВНОЙ ВОЛНЫ НА ВСТАВКЕ
В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ**

Осипов О.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В работе использована гомогенная модель кирального метаматериала с учетом дисперсии диэлектрической проницаемости и параметра киральности [1,2]:

$$\vec{\mathbf{D}} = \varepsilon(\omega)\vec{\mathbf{E}} \mp i\chi(\omega)\vec{\mathbf{H}}; \quad \vec{\mathbf{B}} = \mu\vec{\mathbf{H}} \pm i\chi(\omega)\vec{\mathbf{E}},$$

где

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_c + \frac{\Omega_\varepsilon \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}; \quad \chi(\omega) = \frac{\Omega_\chi \omega_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega},$$

ε_c – относительная диэлектрическая проницаемость контейнера;
 ω_0 – резонансная частота кирального элемента (определяется из квазистатической модели для конкретного типа элемента); γ – частота демпфирования; Ω_ε – «сила» резонанса диэлектрической проницаемости; Ω_χ – «сила» резонанса параметра киральности.

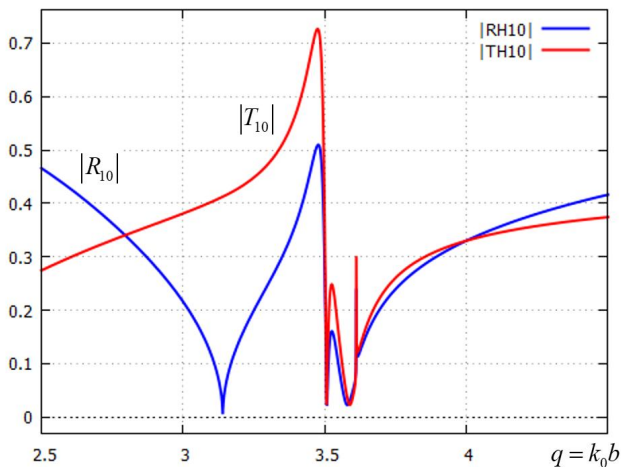


Рис. 1

В рамках данной модели проведено решение задачи дифракции волны H_{10} в прямоугольном волноводе на тонком киральном слое толщины h , который расположен перпендикулярно направлению передачи мощности.

На рис. 1 представлены зависимости модулей коэффициента отражения $|R_{10}|$ и коэффициента прохождения $|T_{10}|$ основной волны H_{10} от нормированной частоты $q = k_0 b$ при значении коэффициента демпфирования: $\Gamma = 0,05$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л., Клюев, Д.С., Курушкин, М.С. и др. Методы решения некорректных задач электродинамического анализа излучающих структур на основе киральных метаматериалов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2019. – Т. 22. – № 4-1. – С. 7-19.
2. Беспалов, А.Н., Бузов, А.Л., Клюев, Д.С. и др. Исследование антенных комплексов с использованием киральных метаматери-

алов и фрактальной геометрии излучателей для систем MIMO // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 97-110.

**USING OF A HOMOGENEOUS MODEL OF A CHIRAL
METAMATERIAL FOR SOLVING THE PROBLEM
OF DIFFRACTION OF THE FUNDAMENTAL WAVE BY AN INSERT
IN A RECTANGULAR WAVEGUIDE**

Osipov O.V.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

A homogeneous model of a chiral metamaterial, taking into account the dispersion of the permittivity and the chirality parameter was used in this work. Based on the model, the problem of diffraction of the fundamental wave of a rectangular waveguide by a chiral insert is solved.

ИССЛЕДОВАНИЕ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛОСКОВЫХ χ -ЭЛЕМЕНТОВ

Осипов О.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В работе рассмотрен киральный метаматериал (КММ) на основе микрополосковых проводящих элементов в виде греческой буквы χ . Геометрия χ -элемента представлена на рис. 1. КММ представляет собой упорядоченную совокупность произвольно ориентированных χ -элементов.

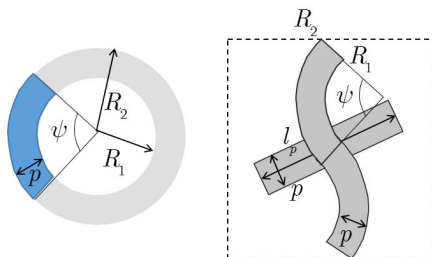


Рис. 1

Резонансная частота кирального микроэлемента определялась с использованием квазистатического приближения:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_c \mu_c}} \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad (1)$$

$$L = \frac{R^2 \sin \beta}{4\pi p}; \quad C = \frac{p(\psi R + l_p)}{d_s}; \quad R = \frac{R_1 + R_2}{2}.$$

В работе была использована следующая дисперсионная модель КММ [1]:

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_c + \frac{\Omega_\epsilon \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}; \quad \chi(\omega) = \frac{\Omega_\chi \omega_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}, \quad (2)$$

где ε_c – диэлектрическая проницаемость; ω_0 – резонансная частота микроэлемента; γ – коэффициент демпфирования; Ω_ε и Ω_χ – «силы» диэлектрического и кирального резонансов.

В работе было проанализировано прохождение и отражение плоской электромагнитной волны линейной поляризации при падении на планарный киральный метаматериал на основе с-элементов. Была доказана возможность переизлучения падающей энергии СВЧ в планарном КММ на основе совокупности исследуемых элементов в плоскостях слоя метаматериала вблизи резонансных частот.

Подобраны геометрические параметры КММ, при которых происходит переизлучение падающего потока СВЧ-энергии в азимутальной плоскости метаматериала на частотах от 1,17 до 1,28 ГГц (в зависимости от уровня концентрации микроэлементов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Ключев Д.С., Нецверт А.М., Неганов В.А. Перспективы использования метаматериалов в антеннах нового поколения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2017. – Т. 20. – № 3. – С. 15-20.
2. Бузов А.Л., Ключев Д.С., Курушкин М.С. и др. Методы решения некорректных задач электродинамического анализа излучающих структур на основе киральных метаматериалов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2019. – Т. 22. – № 4-1. – С. 7-19.

STUDY OF CHIRAL METAMATERIAL BASED ON STRIP CHI-ELEMENTS

Osipov O.V.

*(Povolzhskiy State University of Telecommunications
and Informatics)*

A homogeneous mathematical model of a chiral metamaterial based on stripe conductive chi-elements is constructed in this work. The dispersion of material parameters was taken into account when constructing the model.

ГОМОГЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДВОЙНЫХ РАЗОМКНУТЫХ КОЛЕЦ

Аштаева А.В., Осипов О.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В работе рассмотрен киральный метаматериал [1-2] на основе диэлектрического контейнера, в котором равномерно размещены и произвольно ориентированы проводящие полосковые двойные разомкнутые кольца. Геометрия элементов показана на рис. 1.

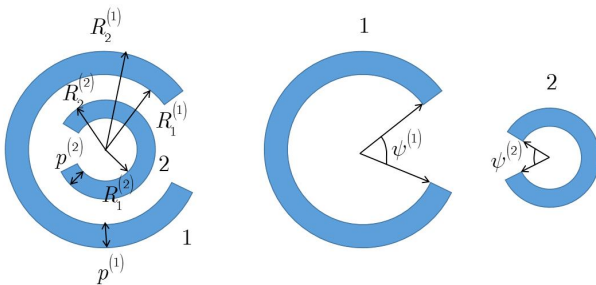


Рис. 1

Резонансная частота двойного разомкнутого кольца была получена из квазистатической модели путем расчета емкости и индуктивности:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_c \mu_c}} \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad L = \frac{R^{(1)} R^{(2)} \sin \beta^{(1)} \sin \beta^{(2)}}{R^{(1)} p^{(2)} \sin \beta^{(1)} + R^{(2)} p^{(1)} \sin \beta^{(2)}}; \quad (1)$$

$$C = \frac{\Psi^{(1)} R^{(1)} p^{(1)} + \Psi^{(2)} R^{(2)} p^{(2)}}{d_s}; \quad R^{(1,2)} = \frac{R_1^{(1,2)} + R_2^{(1,2)}}{2}.$$

Для учета дисперсии была использована следующая известная из литературы гомогенная модель [1, 2]:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_c + \frac{\Omega_\varepsilon \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}; \quad \chi(\omega) = \frac{\Omega_\chi \omega_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}, \quad (2)$$

где ε_c – относительная диэлектрическая проницаемость контейнера; ω_0 – резонансная частота кирального элемента (определяется из квазистатической модели для двойного разомкнутого полоскового кольца); γ – частота демпфирования; Ω_ε – «сила» резонанса диэлектрической проницаемости; Ω_χ – «сила» резонанса параметра киральности.

Заметим, что в предложенной модели не учитывалась гетерогенность кирального метаматериала.

Для тестирования модели решена задача об отражении плоской электромагнитной волны линейной поляризации от киральной полуплоскости на основе выбранного типа метаматериала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л., Ключев, Д.С., Нещерет, А.М., Неганов, В.А. Перспективы использования метаматериалов в антеннах нового поколения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2017. – Т. 20. – № 3. – С. 15-20.
2. Капитонов, В.А., Ключев, Д.С., Мальцев, А.С. и др. Характеристики двухзаходных конических логоспиральных антенн с сеточным и киральным рефлекторами // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2019. – Т. 22. – № 4-1. – С. 33-43.

HOMOGENEOUS MATHEMATICAL MODEL OF A CHIRAL METAMATERIAL BASED ON DOUBLE OPEN RINGS

Ashtaeva A.V., Osipov O.V.

*(Povolzhskiy State University of Telecommunications
and Informatics)*

A homogeneous mathematical model of a chiral metamaterial based on double stripe conductive rings is constructed in this work.

The dispersion of material parameters was taken into account when constructing the model. To test the model, the problem of reflection of a plane electromagnetic wave of linear polarization from a chiral half-plane was solved based on the chosen type of metamaterial.

ГОМОГЕННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛОСКОВЫХ S -ЭЛЕМЕНТОВ

Аштаева А.В., Осипов О.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В работе рассмотрен киральный метаматериал (КММ) на основе обобщенных S -образных полосковых проводящих элементов. Геометрия обобщенного S -элемента показана на рис. 1. Все элементы размещены в однородном диэлектрическом контейнере.

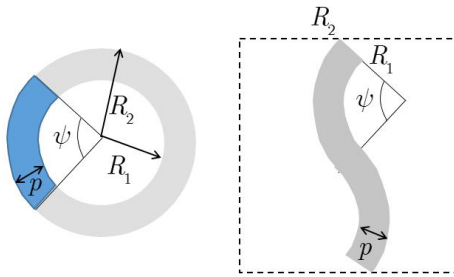


Рис. 1

Резонансная частота обобщенного S -образного элемента находилась из низкочастотной эквивалентной LC-цепочки:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_c \mu_c}} \frac{1}{\sqrt{LC}}; L = \frac{R^2 \sin \beta}{4\pi p}; C = \frac{\psi R p}{d_s}; R = \frac{R_1 + R_2}{2}. \quad (1)$$

Дисперсионная модель КММ была взята из работы [1]:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_c + \frac{\Omega_\varepsilon \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}; \quad \chi(\omega) = \frac{\Omega_\chi \omega_0 \omega}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\gamma\omega}, \quad (2)$$

где ε_c – диэлектрическая проницаемость контейнера; ω_0 – резонансная частота обобщенного S -элемента; γ – частота демпфирования;

Ω_ϵ – «сила» резонанса диэлектрической проницаемости; Ω_χ – «сила» резонанса параметра киральности.

Для доказательства достоверности модели решена задача об отражении плоской электромагнитной волны перпендикулярной поляризации от киральной плоскости на основе периодической матрицы S -образных элементов. В работе показано, что структура из кирального метаматериала на основе периодической совокупности обобщенных S -элементов обладает ярко выраженными частотно-селективными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л., Клюев, Д.С., Курушкин, М.С. и др. Методы решения некорректных задач электродинамического анализа излучающих структур на основе киральных метаматериалов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2019. – Т. 22. – № 4-1. – С. 7-19.

2. Бузов, А.Л., Клюев, Д.С., Нецперет, А.М., Неганов, В.А. Перспективы использования метаматериалов в антеннах нового поколения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2017. – Т. 20. – № 3. – С. 15-20.

HOMOGENEOUS MATHEMATICAL MODEL OF A CHIRAL METAMATERIAL BASED ON STRIP S-ELEMENTS

Ashtaeva A.V., Osipov O.V.

*(Povolzhskiy State University of Telecommunications
and Informatics)*

A homogeneous mathematical model of a chiral metamaterial based on stripe conductive S-elements is constructed in this work. The dispersion of material parameters was taken into account when constructing the model. To test the model, the problem of reflection of a plane electromagnetic wave of linear polarization from a chiral half-plane was solved based on the chosen type of metamaterial.

ПОДБОР КОНСТРУКЦИИ РАДИАТОРОВ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Саидов У.Х., Рахимова А.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Подбор конструкции радиаторов для мощных светодиодных светильников является важным этапом в проектировании осветительных систем. Этот процесс включает в себя анализ мощности светодиодов, их тепловых характеристик, окружающей среды и требований по охлаждению.

Введение. Радиаторы для светодиодных светильников играют ключевую роль в рассеивании избыточной тепловой энергии, которая образуется при работе светодиодов. Неправильно выбранная или спроектированная конструкция радиатора может привести к перегреву светильника и его выходу из строя.

Основные требования к радиаторам для светодиодных светильников

Светодиодные светильники генерируют тепло в процессе работы. Поддержание оптимального теплового баланса является важным требованием для радиаторов:

1) тепловой баланс – поддержание теплового баланса означает, что количество тепла, генерируемого светодиодами, должно быть равным или меньше, чем количество тепла, которое радиатор способен рассеивать. Это предотвращает перегрев светодиодов и снижение их производительности или срока службы;

2) теплорассеивание – радиатор должен быть спроектирован таким образом, чтобы эффективно рассеивать избыточное тепло. Это достигается за счет выбора материала и геометрии радиатора.

Проектирование радиаторов. Выбор оптимальной геометрии радиатора в зависимости от мощности светильника и окружающей среды:

1) мощность светильника – чем она выше, тем больше тепла он генерирует, и следовательно, требуется более эффективный радиатор с большей площадью теплового обмена;

2) окружающая среда – радиаторы должны быть спроектированы с учетом окружающей среды. В зависимости от того, находится светильник внутри помещения или на улице, конструкция радиатора может различаться;

3) геометрия радиатора – исходя из теплового расчета и требований к радиатору, можно определить его геометрию. Это может быть форма ламелей, число ребер, длина и толщина элементов радиатора и другие параметры.

Заключение. В современном мире, где эффективное использование ресурсов и снижение негативного воздействия на окружающую среду становятся все более важными задачами, правильный выбор и проектирование радиаторов для светодиодных светильников играют важную роль в достижении этих целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вилисов, А.А.* Светодиоды и светотехнические устройства: учебное пособие / А.А. Вилисов. – Томск: ТУСУР, 2020. – 112 с.

SELECTION OF RADIATOR DESIGN OF HIGH-POWER LED LIGHTING FIXTURES

Saidov U.H., Rahimova A.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

Selecting a heat sink design for high power LED luminaires is an important step in lighting system design. This process involves analyzing LED wattage, thermal performance, environment and cooling requirements.

МОЩНЫЕ И МАЛОМОЩНЫЕ СВЕТОДИОДНЫЕ МОДУЛИ, ИХ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

Кузнецов А.Е., Рахимова А.Р.

*(Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Введение. Светодиоды стали неотъемлемой частью современной электроники и освещения благодаря своей эффективности, долговечности и экологичности.

Маломощные светодиодные модули. Имеют низкую потребляемую мощность, что делает их идеальными для использования в бытовых устройствах. Обычно состоят из нескольких ключевых элементов:

- 1) полупроводникового кристалла (различные материалы полупроводников могут создавать свет разных цветов);
- 2) двух электродов через которые протекает электрический ток и вызывает излучение света в полупроводнике;
- 3) корпуса – маломощные светодиодные модули обычно заключены в маленький пластиковый корпус с линзой, которая направляет свет в нужном направлении.

Принцип работы маломощных светодиодных модулей основан на явлении электролюминесценции. При подаче электрического тока через полупроводниковый кристалл происходит рекомбинация электронов и дырок. Этот процесс сопровождается излучением фотонов, что и создает свет.

Мощные светодиодные модули. Обладают высокой световой мощностью и используются для освещения больших площадей, прожекторов и везде, где требуется яркий и долговечный свет.

Мощные светодиодные модули имеют более сложную конструкцию по сравнению с маломощными. Основные компоненты этих модулей:

- 1) чип светодиода – в мощных модулях обычно гораздо больше и способен выделять большее количество света;

2) мощные светодиоды выделяют много тепла, поэтому они оборудованы системами теплового управления, включая радиаторы и вентиляторы, чтобы предотвратить перегрев;

3) для направления света в нужном направлении мощные светодиодные модули могут быть оснащены оптическими линзами или отражателями.

Принцип работы мощных светодиодных модулей аналогичен маломощным светодиодам, но с более высокой мощностью.

Заключение. Маломощные и мощные светодиодные модули представляют собой важные элементы современных систем освещения и электроники. Понимание их конструкции и принципов работы помогает в разработке более эффективных и экологичных светодиодных устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бугров, В.Е.* Оптоэлектроника светодиодов: учебное пособие / В.Е. Бугров, К.А. Виноградова. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2013. – 174 с.

2. *Мынбаев, К.Д.* Технические применения светодиодных устройств: учебное пособие / К.Д. Мынбаев. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2016. – 54 с.

HIGH-POWER AND LOW-POWER LED MODULES, THEIR DESIGN AND PRINCIPLE OF OPERATION

Kuznetsov A.E., Rakhimova A.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The article is devoted to the review of technologies and features of application of LED modules, their varieties and main advantages. High-power and low-power LED modules and their application areas are considered.

УДК 535.4

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ДРОБНЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТАЛИНЗЫ

Налимов А.Г., Котляр В.В.

(ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН)

Одним из самых многофункциональных и гибких способов создания оптических вихрей является металинза [2]. В данной работе показано, как с помощью металинзы можно детектировать изначально дробный топологический заряд в падающем пучке. Моделирование в работе показало возможность определения дробного топологического заряда в диапазоне от $-0,6$ до $-1,5$.

На рис. 1 показан рельеф металинзы.

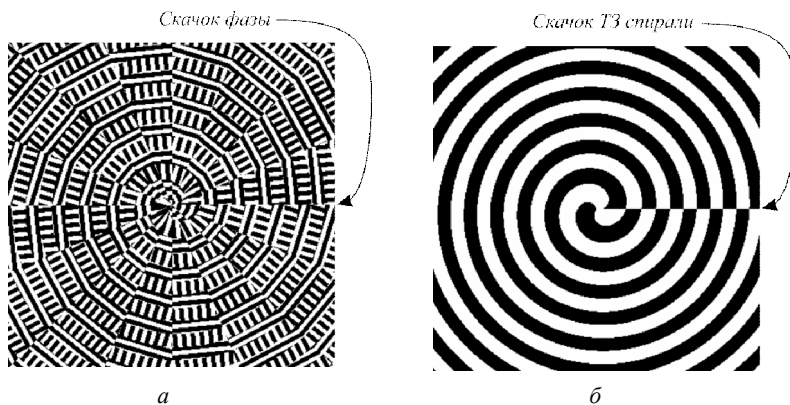


Рис. 1. Металинза:

a – рельеф; *б* – используемая для ее построения спираль порядка 1,5

Металинза построена из участков субволновых дифракционных решеток, чередующихся в направлении по радиусу и к центру. Моделирование распространения света через нее проводилось методом FDTD. На рис. 2 показана зависимость интенсивности в фокусной плоскости на оптической оси от дробного топологического заряда (ТЗ)

падающего излучения. Видно, что интенсивность фокусировки света падает при изменении ТЗ пучка от расчетной. Если принять ТЗ $\varphi = -1$, интенсивность на оптической оси падает в 1,58 раза, а при изменении ТЗ на единицу ($\varphi = -1,5$) – в 6,9 раз.

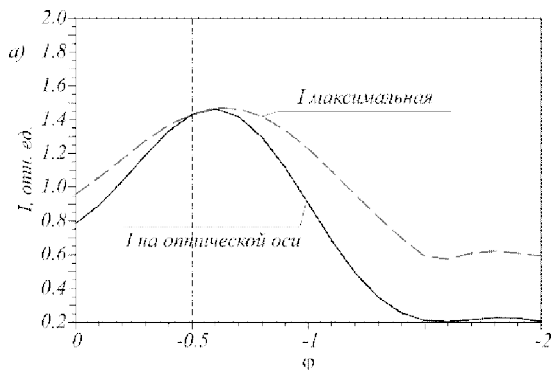


Рис. 2. Зависимость интенсивности (негатив) в фокусной плоскости (в центре и максимальная интенсивность независимо от координат) от ТЗ падающего пучка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Allen, L, Beijersbergen, M.W., Spreeuw, R.J.C., Woerdman, J.P. Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre // Gaussian laser modes. Phys. Rev. A, 1992; 45(11). – Pp. 8185-8189.
2. Lv, S., Bai, Y., Luo, W., Meng, F., Wang, R. Design of a vortex metalens with high focusing efficiency using propagation phase // Appl. Opt., 2022; 61. – Pp. 6311-6315.

DETECTION OF FRACTIONAL TOPOLOGICAL CHARGES USING A MATALENS

Nalimov A.G., Kotlyar V.V.

*(IPSI RAS – branch of the FSRC
«Crystallography and photonics» of the RAS)*

A metalens for detecting an incident field with a fractional topological charge in the range from -2 to 0 is considered in this work. A change in the topological charge of the incident beam is shown numerically to lead to a shift of the focal spot from the center on the optical axis.

С Е К Ц И Я 3

**ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

ОБНАРУЖЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПО АКУСТИЧЕСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Полянский И.С., Касибин С.В.

(¹ФГКВОУ ВО «Академия ФСО России»)

Разработан прототип программно-аппаратного комплекса (ПАК) малогабаритного устройства акустического обнаружения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) мультироторного типа. Технические характеристики ПАК: вес – 80 гр., питание от двух батареек АА, время автономной работы – 8 ч., дальность обнаружения – 200 м. Основными элементами ПАК являются модули: 1) сбора и предварительной обработки данных при выделении полезного сигнала; 2) вычисления признаков звукового сигнала; 3) декодирования. Задачи модуля 1) решаются преимущественно аппаратными средствами при: конвертировании первичного аналогового сигнала в форму, удобную для последующей обработки; минимизации влияния окружающей среды и улучшения качества полезного сигнала.

Модули 2) и 3) составляют алгоритмическую основу работы программной части ПАК и решают задачи:

1) вычисление признаков (сигнатур) звукового сигнала: буферизация принимаемого сигнала с перекрытием; выделение релевантных БПЛА акустических признаков; нормировка сформированного набора признаков и снижение размерности признакового пространства; формирование в итоговом признаковом пространстве эмпирической функции плотности вероятности, согласно которой по правилам байесовской оценки принимается решение о наличии/отсутствии БПЛА;

2) детектирование: акустическое обнаружение БПЛА по выделенным обучающим сигнатурам характерного звукового сигнала; фильтрация полученных акустических оценок по обнаружению БПЛА.

Основные элементы новизны алгоритмического решения составляют: 1) обоснованный выбор релевантных БПЛА акустических признаков; 2) сформированное правило нормировки набора признаков по методам робастной статистики [1] и правилам барицентрической ап-

проксимации [2]; 3) процедура составления эмпирической функции плотности вероятности на неструктурированной расчетной сетке итогового признакового пространства; 4) алгоритм фильтрации акустических оценок. Соответствующие элементы новизны алгоритмической реализации более подробно раскрываются в докладе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Maronna, Ricardo A., Martin, R. Douglas, Yohai, Victor J., Salibián-Barrera, Matias*. Robust statistics: Theory and methods (with R), Wiley Series in Probability and Statistics (2nd ed.). – Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2019. – № 2006.

2. *Ильинский А.С., Полянский И.С.* Приближенный метод определения гармонических барицентрических координат для произвольных многоугольников // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2019. – № 3(59). – С. 38-55.

DETECTION OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE BY ACOUSTIC RADIATION

Polyansky I.S., Kasibin S.V.

(The Academy FGS of Russia)

In the report, the developed software and hardware complex of a small-sized acoustic detection device of a multi-rotor unmanned aerial vehicle is considered. The features of the algorithmic solutions to the problem of detecting an unmanned aerial vehicle embedded in the complex are being clarified. Experimental results of the study are given.

УДК 681.3

ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ

Мирханова А.Н., Комар К.О., Идиатуллов З.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В данной статье рассматриваются современные тенденции и технологии в области передачи и обработки информации в радиотехнических системах. В связи с быстрым развитием технологий и растущим спросом на более эффективные и надежные системы исследования в этой области становятся все более интенсивными.

В современном мире информация является одним из самых ценных ресурсов. Его передача и обработка очень важны во многих отраслях промышленности, включая радиотехнические системы, в которых наблюдаются существенные изменения, влияющие на различные аспекты их функционирования.

Одной из высокоприоритетных тенденций является увеличение скорости передачи данных, что обусловлено распространением беспроводных технологий и повсеместным использованием мобильных устройств.

Другие значимые тенденции в развитии радиотехнических систем – повышение энергоэффективности (современные технологии предлагают эффективные методы обработки многолучевых сигналов, основанных на использовании алгоритмов и методов цифровой обработки сигналов[1]), а также развитие технологий междуустройственной связи, таких как интернет вещей (IoT)(эти технологии позволяют создавать сети из множества устройств[1]).

Следует отметить и другой важный аспект – развитие технологий сверхвысокой частоты (СВЧ) и миллиметрового диапазона. С использованием данных технологий возможно передавать значительный объем данных на очень высоких частотах.

Необходимо упомянуть о развитии технологий Multiple Input Multiple Output (MIMO), которые позволяют использовать несколько антенн для передачи и приема сигнала. Их применение способствует увеличению пропускной способности и надежности связи[2].

Безопасность передачи информации в радиотехнических системах является приоритетным направлением развития. Улучшение криптографических методов и протоколов сделало возможным обеспечение конфиденциальности и целостности передаваемых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васин, В.А. и др.* Информационные технологии в радиотехнических системах / И.Б. Власов, Ю.М. Егоров. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 672 с.

2. *Бакланов, И.Г.* Методы измерений в системах связи / И.Г. Бакланов. – Москва: Эко-трендз, 1999. – 204 с.

TRANSMISSION AND PROCESSING OF INFORMATION IN RADIO ENGINEERING SYSTEMS: CURRENT TRENDS AND TECHNOLOGIES

Mirkhanova A.N., Komar K.O., Idiatullov Z.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This article discusses current trends and technologies in the field of information transmission and processing in radio engineering systems. Due to the rapid development of technology and the growing demand for more efficient and reliable systems, research in this area is becoming more intensive.

**ФОРМИРОВАНИЕ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ
С ВАРЬИРУЕМЫМИ ПИК-ФАКТОРАМИ
НА ОСНОВЕ МНОГОЛЕПЕСТКОВОЙ
ДИСКРЕТНО-НЕЛИНЕЙНОЙ TSUCS**

Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Возрастающие требования к эффективности передачи сигналов, повышению качества связи, защите информации требуют анализа возможности применения эффектов динамического хаоса для формирования сигналов. Одним из путей повышения энергетической эффективности систем связи является снижение пик-фактора (PF) формируемых псевдослучайных сигналов.

Цель работы – исследование влияния параметров управляемой многолепестковой дискретно-нелинейной Three-Scroll Unified Chaotic System (TSUCS) с хаотической динамикой на величину PF формируемых псевдослучайных сигналов.

В работе формирование псевдослучайных сигналов проводится на основе численного интегрирования многолепестковой TSUCS [1]. Установлено, что в случае некорректного задания начальных условий из-за возникающего переходного процесса может возникать аномальное увеличение PF формируемых псевдослучайных сигналов. Предложено введение защитного временного интервала T_0 для достижения устойчивого хаотического режима работы TSUCS с пониженными значениями PF. Показано, что T_{0min} зависит от периода квазирезонансных колебаний $T_{кр}$ TSUCS и должно выбираться в диапазоне $(110 \dots 130) T_{кр}$.

Сформированы массивы наборов начальных значений переменных TSUCS, обеспечивающих минимизацию продолжительности переходного процесса. Полученные характерные зависимости PF сиг-

налов дискретно-нелинейной TSUCS от изменения системного параметра Q при ранее установленных начальных значениях приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимости PF сигналов от параметра Q

Сигнал	Q		
	1,2	1,8	5,5
x	2,43	2,37	1,73
y	3,13	3,02	2,53
z	1,66	1,82	2,24

С увеличением Q от 1,2 до 5,5 происходит снижение PF для сигнала x на 40 %, для сигнала y на 24 %, при одновременном увеличении PF для сигнала z на 74 %.

Полученные результаты позволяют выбирать диапазоны возможных вариаций параметров управляемой TSUCS, обеспечивающих требуемые изменения PF формируемых псевдослучайных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wu, Y., & Wei, H.* Efficient secure communication scheme based on three-dimensional discrete chaotic systems and chaotic cryptography / International Journal of Bifurcation and Chaos, 30(04). – 2020. – 2050041.

GENERATING PSEUDO-RANDOM SIGNALS WITH VARIABLE PEAK FACTORS BASED ON MULTI-SCROLL DISCRETE-NONLINEAR TSUCS

Sharifullin T.B., Afanasiev V.V.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The influence of the parameters of discrete-nonlinear controlled TSUCS on the signals peak factor was evaluated. The recommendations for signal peak factor decreasing by parameters choosing of controlled discrete-nonlinear TSUCS with dynamic chaos are proposed.

СИСТЕМА РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

Дорохов С.П., Прахов А.С., Салов А.С.

(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»)

Электронные средства идентификации (транспондеры) различных объектов в настоящее время получили широкое распространение в различных сферах деятельности человека, поскольку данные устройства являются носителями достоверной информации, требующей определенного шифрования, исключающего возможность ее несанкционированного изменения или коррекции. Среди различных конструктивных исполнений транспондеров особое внимание следует уделить устройствам, построенным на основе радиометок на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [1], поскольку они устойчивы к ионизирующим излучениям, ударным перегрузкам и температурным воздействиям в широком диапазоне.

Система радиочастотной идентификации и мониторинга состояния объектов контроля [2] состоит из двух функционально самостоятельных частей: считывающего устройства (базовой станции) и транспондера [3] (рис. 1).

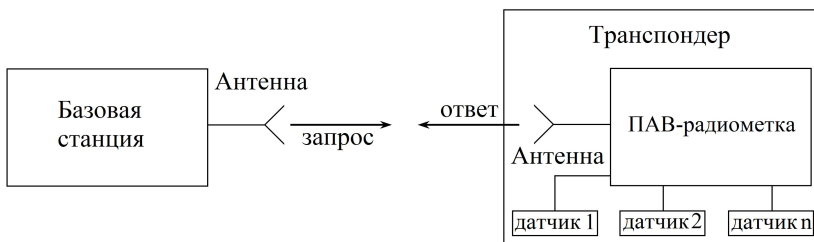


Рис. 1. Структурная схема системы дистанционной идентификации и контроля

Приемо-передающий блок базовой станции по радиоканалу производит опрос транспондера посредством периодической последо-

вательности импульсных сигналов. В ответ на каждый из импульсов запроса транспондер переизлучает уникальную кодовую последовательность импульсов, идентифицирующую данный транспондер и регистрирующую текущее состояние его датчиков. Принятый базовой станцией ответный сигнал дешифруется блоком обработки, записывается на внутренний носитель информации, выводится на дисплей и передается на диспетчерский пункт для сопоставления с исходными данными.

Каждый объект контроля [4] оснащается транспондером. Идентификационный код транспондера соответствует идентификационному номеру ПАВ-радиометки, при этом изменение кодированной последовательности импульсов невозможно.

Система [2] позволяет решить задачу идентификации и мониторинга состояния объектов контроля во всем цикле обращения с ними. Реализованная схема построения системы исключает возможность искажения информационных данных. Периодический мониторинг объектов контроля позволяет сделать выводы об их фактическом состоянии и, при необходимости, принять необходимые меры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Реут, В.Р. и др.* Новая конструкция многоканальной ПАВ-радиометки на основе многополоскового ответителя // Нано- и микросистемная техника. – 2019. – Т. 21. – №10. – С. 579-588.

2. *Дорохов, С.П. и др.* Радиочастотная система дистанционного мониторинга состояния защитных контейнеров с опасными веществами / Радиотехника и электроника. – 2023. – Т. 68. – № 5. – С. 507-516.

3. *Дорохов, С.П.* Многопараметрический транспондер на основе пассивной радиометки на поверхностных акустических волнах / Датчики и системы. – 2018. – № 11. – С. 35-41.

4. Пат. РФ 2715379. Контейнер со средствами защиты и контроля. А.С. Салов, С.П. Дорохов и др. – № 2019127967; заявл. 04.09.2019; опубл. 27.02.2020; Бюл. № 6.

SYSTEM FOR RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION AND MONITORING THE STATE OF OBJECTS UNDER CONTROL

Dorokhov S.P., Prakhov A.S., Salov A.S.

(FSUE «RFNC-VNIEF»)

Present the results of the development of the system allows to solve the task of identifying and monitoring the monitored objects state in the whole cycle of their handling. The implemented system design eliminates the possibility of information data distortion. Periodic monitoring of the objects under control allows to draw conclusions about their actual state and, if necessary, to take the necessary measures.

УДК 621.396

**АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО ВЛИЯНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ
ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДНИКОВ ПЛАТ,
УСТАНОВЛЕННЫХ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЕ
ОСНОВАНИЕ И РАБОТАЮЩИХ
В УСЛОВИЯХ КОСМИЧЕСКОГО ВАКУУМА**

Костин А.В.

*(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)*

В космическом приборостроении получили распространение печатные платы на металлическом основании. Очень часто они работают в условиях космического вакуума.

В процессе проектирования платы приходится выбирать ширину печатных проводников (ПП) исходя из нагрузочной способности. Особенно это актуально для силовых приборов систем электропитания. Параллельно идущие ПП подогревают друг друга и их нагрузочная способность снижается. Научных работ по тепловому взаимодействию ПП достаточно мало.

Автор проанализировал работу теплового влияния друг на друга двух параллельных печатных проводников плат, установленных на металлическое основание и работающих в условиях космического вакуума.

Аналізу подвергались платы с различным количеством слоев [1], взаимное влияние внутренних и внешних ПП друг на друга при разных расстояниях между ними. Анализ проводился в ANSYS. Было выявлено, что зависимость перегрева ПП относительно основания от расстояния между ПП может быть описана экспонентой.

Было определено расстояние, при котором взаимодействие ПП практически прекращается (снижение перегрева до уровня 0,05 от разницы между минимальным и максимальным значением пере-

грева). Построены графики зависимости толщины изоляционных слоев между ПП и основанием (Н) от расстояния по уровню 0,05 (t). Из рис. 1 видно, что графики возрастают для ПП, расположенных на одном слое, и убывают для ПП, расположенных на разных слоях.

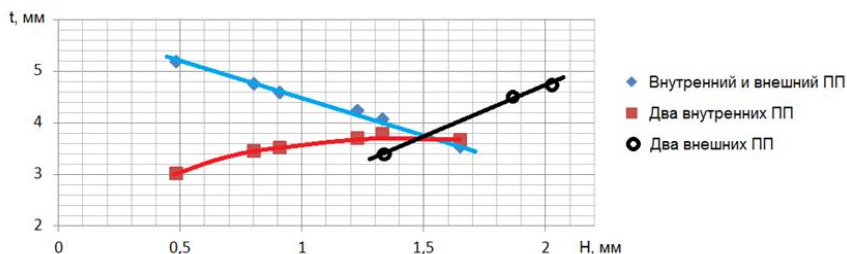


Рис. 1. Графики зависимости t от H

Результаты проделанной работы могут помочь при проектировании печатных плат космических аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Костин, А.В.* Уточнение методики выбора ширины печатных проводников печатных плат на металлическом основании, работающих в условии отсутствия конвекции // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы.* – 2021. – Т. 24. – № 3. – С. 80-91.

ANALYSIS OF THE THERMAL EFFECT OF PARALLEL PRINTED CIRCUIT BOARD CONDUCTORS SET ON A METAL BASE AND OPERATING IN A SPACE VACUUM

Kostin A.V.

(Samara National Research University)

The theses describe the results of the analysis of the thermal effect of two parallel printed circuit board conductors set on a metal

base and operating in a space vacuum. Graphs of the dependence of the distance between printed conductors, at which their mutual influence ceases, on the thickness of the insulating layer between the conductors and the base are given.

МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛОКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Шнейдмиллер В.Р., Мелешенко Д.Ю., Пиганов М.Н.

*(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)*

В докладе поставлена задача модернизации блока предварительной обработки сигналов (БПОС) с целью уменьшения его массогабаритных показателей и повышения надежности. БПОС предназначен для работы в условиях невесомости. Блок должен выдерживать температуру окружающей среды от -30 до $+45$ °С. БПОС будет подвергаться вибронагрузкам от 200 Гц до 5кГц. На устройство будет действовать перегрузка до 10 g при старте ракеты. Корпус модернизированного блока должен быть легким, прочным и обеспечивать защиту от космического ионизирующего излучения. БПОС входит в состав бортовой системы регистрации космического аппарата (КА).

Структурная схема бортовой системы регистрации представлена на рис. 1.

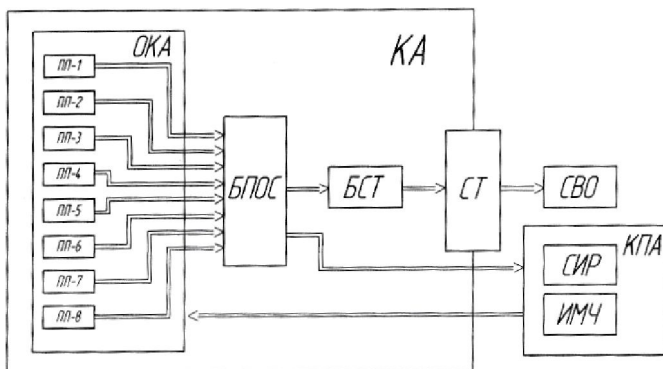


Рис. 1. Структурная схема системы регистрации

На схеме приняты следующие условные обозначения:

ПП – первичный преобразователь;

БПОС – блок предварительной обработки сигналов;

БСТ – электронный блок согласования с системой телеметрии;

СТ – система телеметрии;

СВО – система вторичной обработки результатов измерений;

КПА – комплект контрольно-поверочной аппаратуры;

СИР – система индикации результата,

ИМЧ – имитатор механических частиц.

Система регистрации состоит из первичных преобразователей (ПП), электронного блока предварительной обработки сигналов первичных преобразователей (БПОС), электронного блока согласования с системой телеметрии (БСТ), системы телеметрии (СТ), системы вторичной обработки результатов измерений (СВО) и комплекта контрольно-поверочной аппаратуры (КПА), включающей систему индикации результата (СИР) и имитатор механических частиц (ИМЧ).

Первичные преобразователи размещают по возможности равномерно с шагом 0,3 ... 1 м на внутренней стороне внешних оболочек космического аппарата (ОКА) или других внешних элементов конструкции и соединяют с блоком предварительной обработки сигналов двухпроводными линиями. Модификации блока предварительной обработки сигналов независимы от системы телеметрии и в зависимости от конструктивных особенностей космического аппарата могут обслуживать 8, 16, 32 или 64 первичных преобразователя.

Блок согласования с системой телеметрии является схемно и конструктивно зависимым от применяемой телеметрической системы, поэтому он должен разрабатываться индивидуально для конкретного космического аппарата.

Система индикации результата служит для отображения порядка и номера сработавших первыми трех датчиков, времени T12 и T23 между срабатываниями этих датчиков, амплитуды сигналов высокого уровня в цифровом и аналоговом виде. Необходимые сигналы (напряжения) с блока предварительной обработки сигналов подаются в блок системы индикации результатов через разъемы типа РС-32. Имитаторами механических частиц являются стальные шарики раз-

ного диаметра, которые сбрасываются с фиксированной высоты на поверхность, моделирующую оболочку космического аппарата с размещенными на ней первичными преобразователями.

MODERNIZATION OF THE SIGNAL PREPROCESSING UNIT

Schneidmiller V.R., Meleshenko D. Yu., Piganov M.N.

(Samara National Research University)

The report sets the task of upgrading the signal preprocessing unit in order to reduce its weight and size indicators and increase reliability. The PSU is designed to operate in zero gravity.

УДК 621.396

МЕТОДИКА РАСЧЕТА БОРТОВОГО БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

Денисюк А.А., Шестаков Д.А., Бандяева Е.В.

*(Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева)*

Оценка показателей надежности блока управления была проведена с использованием структурной схемы надежности (ССН), под которой понимается символическое представление влияния отказов элементов блока управления на работоспособность прибора в целом. ССН блока управления можно представить в виде последовательно соединенных элементов ССН (ЭССН). ЭССН называют типовые ССН, известные в теории надежности, для которых получены в явном виде зависимости их показателей надежности от характеристик надежности составляющих элементов.

В качестве показателя надежности блока управления принята вероятность безотказной работы на определенном интервале времени $P(T_{ш.р.})$, при допущении, что вероятность возникновения отказов элементов блока во времени распределена по экспоненциальному закону и описывается формулой:

$$P = e^{-K_a K_{ин} K_y \sum_{i=1}^N \lambda_{эi} T_{ш.р.}},$$

где $\lambda_{эi}$ – расчетная эксплуатационная интенсивность отказов i -го элемента, $ч^{-1}$;

$T_{ш.р.}$ – время штатной работы элемента, $ч$;

N – количество элементов;

K_a – коэффициент качества производства аппаратуры, характеризующий отработанность техпроцесса и уровень организации производства (равен 0,2);

$K_{ин}$ – коэффициент ионизирующих излучений (равен 1);

K_y – коэффициент ожидаемого роста надежности за 3 года (равен 0,85).

Хранение прибора в наземных условиях при расчете вероятности безотказной работы не учитывается, так как перед штатной эксплуатацией проверяется его работоспособность в составе изделия.

Значения эксплуатационной интенсивности отказов рассчитываются по формуле:

$$\lambda_{эi} = \lambda_6(\lambda_{6.с.г.}) \cdot \prod_{i=1}^m K_i,$$

где $\lambda_6(\lambda_{6.с.г.})$ – исходная (базовая) интенсивность отказов данного типа (группы электрорадиоизделий (ЭРИ), в условиях номинальной электрической нагрузки при температуре окружающей среды 25 °С;

K_i – коэффициенты, учитывающие изменение исходной интенсивности отказов от различных факторов;

m – число учитываемых факторов.

При расчете различных факторов влияния учитывались коэффициенты:

$K_э$ – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации;

$K_р$ – коэффициент, учитывающий фактический режим применения ЭРИ в аппаратуре (электрической нагрузки и температуры);

$K_{пр}$ – коэффициент приемки;

$K_{кк}$ – коэффициент, зависящий от качества задействованных контактов соединителя или количества и вида задействованных контактов реле;

$K_{кс}$ – коэффициент, зависящий от количества сочленений-расчленений соединителя;

$K_ф$ – коэффициент, зависящий от функционального назначения полупроводниковых ЭРИ;

$K_{с1}$ – коэффициент, зависящий от величины рабочего напряжения относительно максимально допустимого по ТУ на ЭРИ;

$K_с$ – коэффициент, зависящий от величины номинальной емкости.

CALCULATION METHOD OF THE ON-BOARD CONTROL UNIT

Denisyuk A.A., Shestakov D.A., Bandyayeva E.V.

(Samara National Research University)

The evaluation of the reliability indicators of the control unit was carried out using a reliability block diagram. As an indicator of the reliability of the control unit, the probability of trouble-free operation at a certain time interval is taken $P(T_{\text{т.п.}})$.

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ФУНКЦИИ
ПОМЕХОВОЙ МОДУЛЯЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ
СТАЦИОНАРНЫХ ФЛУКТУАЦИОННЫХ
МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ**

Артюшенко В.М.¹, Воловач В.И.²

¹ФГБОУ ВО МО «Технологический университет»,
²Поволжский государственный университет сервиса)

Пусть ФПМ является стационарной функцией вида

$$\dot{M}(t) = \overline{\dot{M}} + \dot{V}_0(t), \quad (1)$$

где $\overline{\dot{M}} = m_1 \{ \dot{M}(t) \}$ – матожидание; $\dot{V}_0(t)$ – флуктуации ФМП.

Характеристическая функция (ХФ) фазовых и амплитудных искажений позволяет определить КФ ФПМ $\dot{B}_M(\tau)$ и КФ флуктуаций ФМП $\dot{B}_V(\tau)$. В дальнейшем используем четырехмерную ХФ:

$$\theta_4^{n\varphi}(x_1, x_2, x_3, x_4) = m_1 \left\{ \exp \left\{ j(x_1 \eta_1 + x_2 \eta_2 + x_3 \varphi_1 + x_4 \varphi_2) \right\} \right\},$$

которая позволяет описать КФ $\dot{B}_M(\tau)$ следующим выражением:

$$\dot{B}_M(\tau) = m_1 \left\{ \dot{M}(t) M^*(t - \tau) \right\} = - \left[\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} \theta_4^{n\varphi}(x_1, x_2, 1, -1) \right]_{\substack{x_1=0 \\ x_2=0}}. \quad (2)$$

Здесь η_i и φ_i определяют, соответственно, амплитудные и фазовые искажения.

Учитывая (1), запишем КФ флуктуаций ФПМ:

$$\dot{B}_V(\tau) = m_1 \left\{ \dot{V}_0(t) V_0^*(t - \tau) \right\} = \dot{B}_M(\tau) - \left| \overline{\dot{M}} \right|^2. \quad (3)$$

Используя двухмерную ХФ, получим матожидание ФПМ:

$$\overline{\dot{M}} = m_1 \left\{ \eta \exp \{ j\varphi \} \right\} = -j \left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{n\varphi}(x_1, 1) \right]_{x_1=0}. \quad (4)$$

Выражения (2)-(4) позволяют получить КФ флуктуаций в виде:

$$\dot{B}_r(\tau) = \left[\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} \theta_4^{\eta\varphi}(x_1, x_2, 1, -1) \right]_{\substack{x_1=0 \\ x_2=0}} - \left[\left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_2^{\eta\varphi}(x_1, 1) \right]_{x_1=0} \right]^2.$$

Если задать определяющий амплитудные искажения безразмерный множитель $\eta(t)$ в виде $\eta(t) = \eta_0 [1 + \xi(t)]$, где η_0 – матожидание $\eta(t)$; $\xi(t)$ – стационарный случайный процесс с нулевым средним, $[1 + \xi(t)] \geq 0$, то, например, КФ ФПМ запишется так:

$$\dot{B}_M(\tau) = \eta_0^2 \left\{ \theta_4^{\xi\varphi}(0, 0, 1, -1) - j \left[\frac{\partial}{\partial x_1} \theta_4^{\xi\varphi}(x_1, 0, 1, -1) \right]_{x_1=0} - \right. \\ \left. - j \left[\frac{\partial}{\partial x_2} \theta_4^{\xi\varphi}(0, x_2, 1, -1) \right]_{x_2=0} - \left[\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} \theta_4^{\xi\varphi}(x_1, x_2, 1, -1) \right]_{\substack{x_1=0 \\ x_2=0}} \right\}.$$

По аналогии можно записать КФ флуктуаций ФПМ. В ходе работы были получены, в частности, корреляционные функции для некоррелированных амплитудных и фазовых искажений.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00452, <https://rscf.ru/project/23-21-00452/>

CORRELATION FUNCTIONS FUNCTIONS NOISE MODULATION UNDER THE INFLUENCE STATIONARY FLUCTUATIONAL MULTIPLICATE NOISE

Artyushenko V.M.¹, Volovach V.I.²

(¹Technological University,

²Volga Region State University of Service)

The correlation functions of the fur modulation function under the influence of stationary fluctuation multiplicative noise have been determined.

УДК 621.396.96
**КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ФУНКЦИИ ПОМЕХОВОЙ
 МОДУЛЯЦИИ ПОД ВЛИЯНИЕМ
 МЕДЛЕННЫХ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ**

Артюшенко В.М.¹, Воловач В.И.²

(¹ФГБОУ ВО МО «Технологический университет»,

²Поволжский государственный университет сервиса)

Будем полагать, что случайные процессы, определяющие фазовые $\varphi(t)$ и амплитудные $\eta(t)$ искажения, а также стационарный случайный процесс с нулевым средним $\xi(t)$, дифференцируемы в среднеквадратическом смысле. Это позволяет разложить искомые КФ ФПМ $\dot{B}_M(\tau)$ и КФ флуктуаций ФМП $\dot{B}_V(\tau)$ в ряд Маклорена. Будем использовать в разложении первые три члена ряда при выполнении условия $|\tau| \leq T \ll \tau_k$, где τ_k – время корреляции:

$$\dot{B}_M(\tau) \approx \dot{B}_M(0) + \tau \dot{B}'_M(0) + 0,5r^2 \dot{B}''_M(0);$$

$$\dot{B}_V(\tau) \approx \dot{B}_V(0) + \tau \dot{B}'_V(0) + 0,5r^2 \dot{B}''_V(0).$$

Здесь $\dot{B}'_b(\tau) = \frac{d}{d\tau} \dot{B}_b(\tau)$; $\dot{B}''_b(\tau) = \frac{d^2}{d\tau^2} \dot{B}_b(\tau)$, $b = M, V$.

Далее определяем значения

$$\dot{B}_M(0), \dot{B}'_M(0), \dot{B}''_M(0), \dot{B}_V(0), \dot{B}'_V(0) \text{ и } \dot{B}''_V(0).$$

Пусть амплитудные и фазовые искажения независимы при значениях $\tau \ll \tau_k$. Тогда при $\eta(t) = \eta_0 [1 + \xi(t)]$, где η_0 – математическое ожидание $\eta(t)$, $[1 + \xi(t)] \geq 0$, получим на основании вычисленных производных КФ $\dot{B}_V(\tau)$ и $\dot{B}_M(\tau)$:

$$\dot{B}_M(\tau) \approx \eta_0^2 (1 + \sigma_\xi^2) - 0,5\tau^2 \eta_0^2 [\sigma_\xi^2 + (1 + \sigma_\xi^2) \sigma_\omega^2]; \quad (1)$$

$$\dot{B}_V(\tau) \approx \eta_0^2 (1 + \sigma_\xi^2) - \left| \bar{M} \right|^2 - 0,5\tau^2 \eta_0^2 [\sigma_\xi^2 + (1 + \sigma_\xi^2) \sigma_\omega^2]. \quad (2)$$

Здесь $\bar{M} = m_1 \{ \dot{M}(t) \}$ – математическое ожидание ФПМ.

Согласно (1) КФ ФПМ $\dot{B}_M(\tau)$ и (2) КФ флуктуаций ФПМ $\dot{B}_V(\tau)$ определяются дисперсиями σ_ξ^2 и $\sigma_{\xi'}^2$, связанными с амплитудными искажениями, и дисперсией σ_ω^2 , связанной с фазовыми искажениями.

При одних только фазовых искажениях выражения (1) и (2) упрощаются:

$$\dot{B}_M(\tau) \approx 1 + 0,5\tau^2\sigma_\omega^2; \dot{B}_V(\tau) \approx 1 - \left| \bar{M} \right|^2 - 0,5\tau^2\sigma_\omega^2.$$

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00452, <https://rscf.ru/project/23-21-00452/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Artyushenko, V.M., Volovach, V.I.* Correlation Functions of the Noise Modulation Function under the Influence of Stationary and Slow Multiplicative Noise XVI IEEE 2022 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Tomsk University of Control Systems and Radio Electronics, Russia, Tomsk, 17-19 November, 2022. DOI: 10.1109/SIBCON56144.2022.10003028

CORRELATION FUNCTIONS FUNCTIONS NOISE MODULATION UNDER THE INFLUENCE SLOW MULTIPLICATE NOISE

Artyushenko V.M.¹, Volovach V.I.²

(¹Technological University,

²Volga Region State University of Service)

The correlation functions of the fur modulation function under the influence of slow multiplicative noise have been determined.

УДК 621.396.6

УЧЕБНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ИМИТАЦИОННЫЙ СТЕНД ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРА СЛОЖНОГО СИГНАЛА В ГАУССОВСКИХ КАНАЛАХ, РАЗРАБОТАННЫЙ В СРЕДЕ GNU OCTAVE (MATLAB)

Жукова Д.Н., Зарипов Р.Ф.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Разработанный лабораторный имитационный стенд (рис. 1) генерирует сложный сигнал, состоящий из множества простых зашумленных сигналов.

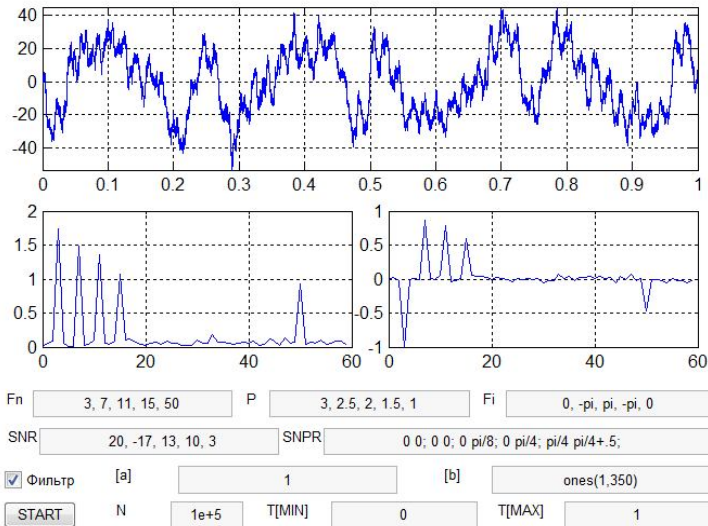


Рис. 1. Графический интерфейс учебного лабораторного стенда

К сожалению, не все возможности доступны для данного стенда, в частности, нельзя генерировать сигналы с фазовыми шумами и фильтровать сложный сигнал с помощью БИХ-фильтра.

Вектор общего сигнала длительностью N можно описать формулой [1]:

$$\bar{U} = \sum_{i=1}^{\max} \left(A_i \cdot \sin(\bar{t} 2\pi F n_i + F i_i) \right) + \overline{AWGN}(\sigma_i) \cdot A_i,$$

где \max – количество сигналов; $F n$ – частота сигнала; $A = \sqrt{P}$ – его амплитуда; $F i$ – начальная фаза; \bar{t} – вектор времени сигнала ($0 \div 1$) и $AWGN$ – функция генератора гауссовых случайных значений, зависящая от среднеквадратического отклонения σ , которое находится по формуле:

$$\sigma = 10^{-\frac{SNR}{20}},$$

так как $SNR = 10 \log \left(\frac{A_c^2}{A_{ш}^2} \right) = 10 \lg \left(\frac{1}{\sigma^2} \right)$.

Временная характеристика сигнала $\in T_{\min} \div T_{\max}$.

Спектральный вектор рассчитывается на базе быстрого (дискретного) преобразования Фурье по формуле:

$$S(k) = \sum_{n=1}^N U(n) \exp\left(\frac{-j2\pi(k-1)(n-1)}{N}\right), \quad 1 \leq k \leq N$$

и ограничивается $\max(F n) + 10$.

Для вывода амплитудного и фазового спектра вектор рассчитывается по формуле [2]:

$$\bar{A} = \frac{\max |\bar{U}| \cdot |\bar{S}|}{\max |\bar{S}|}, \quad |\bar{S}| = \sqrt{S_{\text{Re}}^2 + S_{\text{Im}}^2}; \quad \bar{\Phi} = \frac{\overline{S_{\text{Im}}}}{\max |\min S_{\text{Im}}, \max S_{\text{Im}}|}.$$

Проделанная работа легла в основу лабораторного практикума, который сопровождается шестичасовым обучающим видеороликом и методическим обеспечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Булгаков, С.А., Фатыхов, М.М.* Разработка программного модуля «Modulator (PCM)» для программы моделирования алгоритмов обработки сигналов в мобильных системах связи // III Научный форум Телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2019: материалы XVII Международной научно-технической конференции, Казань, 18-22 ноября 2019 года. – Т. 3. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2019. – С. 40-41.
2. *Елизаров, А.В., Файзуллин, Р.Р.* Разработка инструмента «Редактор созвездия» программного Модуля «modulator» для программы моделирования методов обработки сигналов в мобильных системах связи // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей по итогам XII Международной научной конференции, Казань, 30-31 декабря 2020 года. – Ч. 1. – Казань: ООО «Конверт», 2020. – С. 70-73.

TRAINING SIMULATION BENCH FOR STUDYING THE COMPLEX SIGNAL SPECTRUM IN THE GAUSSIAN CHANNELS, DEVELOPED IN THE GNU OCTAVE (MATLAB)

Zhukova D.N., Zaripov R.F.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The paper presents an educational laboratory simulation bench, which is used in the CAD database development.

**ДОПОЛНЕНИЕ К УЧЕБНОМУ ЛАБОРАТОРНОМУ
ИМИТАЦИОННОМУ СТЕНДУ,
РАЗРАБОТАННОЕ В СРЕДЕ GNU OCTAVE,
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРА СЛОЖНОГО СИГНАЛА
С ФАЗОВЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ
ФИЛЬТРАЦИЕЙ С ПОМОЩЬЮ БИХ-ФИЛЬТРА**

Чугунов А.А., Зарипов Р.Ф.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Учебный лабораторный имитационный стенд для исследования спектра сложного сигнала рассматривался в других тезисах в рамках данного форума и конференции за авторством Жуковой Д.Н. и Зарипова Р.Ф. В данном докладе предлагается повысить функциональность стенда путем добавления фазового шума для каждого сигнала в диапазоне $0 \div 2\pi$, а также использовать фильтрацию на базе БИХ-фильтра. Рисунок графического интерфейса учебного лабораторного стенда не приводится, так как он имеется в другой работе, речь о которой шла ранее. Для понимания, как именно формируется фазовый шум, приводятся графики на рис. 1, где векторы сигналов первого и второго ряда имеют вид:

$$\begin{aligned} \bar{u}_1 &= \Lambda \cdot \sin(\bar{t} + \bar{\varphi}); \quad \bar{u}_2 = \Lambda \cdot \sin(\bar{t} + \bar{\varphi} + \text{rand}(SNPR)); \\ \bar{u}_2 &= \Lambda \cdot \sin\left(\bar{t} + \bar{\varphi} + \text{rand}\left(\frac{SNPR}{8}\right)\right); \quad \bar{u}_2 = \Lambda \cdot \sin(\bar{t} + \bar{\varphi}) + \text{randn}(\sigma). \end{aligned}$$

Учитывая, что для первого ряда: амплитуда $\Lambda = A$ и фаза сигнала $\bar{\varphi} = 0$; а для второго: $\Lambda = \frac{A}{\sqrt{2}}$ и $\bar{\varphi} = \frac{\pi}{2} - \bar{t}$, \bar{t} – вектор отчетов времени, фазовый шум представлен в виде простейшего генератора:

$$\text{rand}(SNPR) = (SNPR_{\max} - SNPR_{\min}) \cdot [0 \div 1] + SNPR_{\min},$$

$SNPR_{\min, \max} = [0; 2\pi]$, $randn(\sigma)$ – генератор гауссовых случайных величин (в данной работе не рассматривается) [1]. Обратите внимание, что это один и тот же сигнал лишь с одной разницей – во втором ряду присутствует действующая фаза, а в первом ряду ее нет.

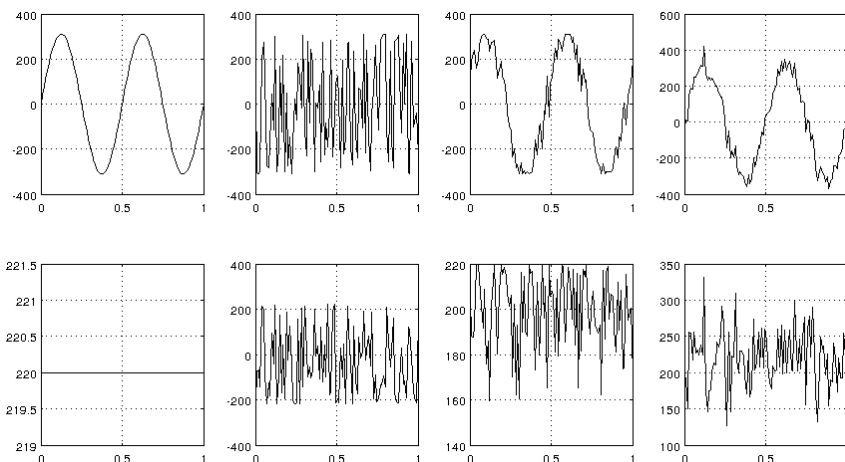


Рис. 1. Влияние амплитудного и фазового шума на переменный и постоянный сигнал

Фильтрация производится за счет фильтра с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ-фильтр). Схематично дискретный фильтр представлен на рис. 2.

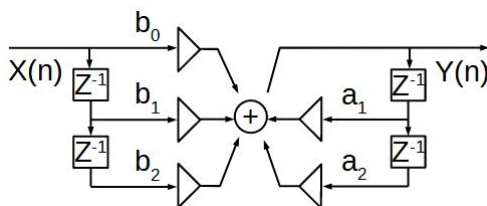


Рис. 2. Схема БИХ-фильтра

Математическая схема (функция filter в GNU Octave):

$$Y(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_M z^{-M}},$$

где z^{-1} – задержка в один отчет; a , b – коэффициенты усиления прямой и обратной связи.

В конечном итоге в учебном лабораторном имитационном стенде модифицированная формула фильтрованного сложного сигнала имеет вид:

$$\bar{U} = \text{filter} \left(\bar{b}, \bar{a}, \sum_{i=1}^{\max} \left(A_i \cdot \sin \left(\bar{t} 2\pi F n_i + F i_i + \overline{APN(SNPR_i)} \right) \right) + \overline{AWGN(\sigma_i)} \cdot A_i \right),$$

где $APN(SNPR_i)$ – генератор вектора фазовых искажений каждого сигнала [2].

Проделанная работа легла в основу лабораторного практикума, который сопровождается шестичасовым обучающим видеороликом и методическим обеспечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казанцев, Д.К., Файзуллин, Р.Р.* Разработка программных модулей «Modulator (PDM)» и «Modulator (AM)» для программы моделирования методов обработки сигналов в мобильных системах связи // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей по итогам XII Международной научной конференции, Казань, 30-31 декабря 2020 года. Ч. 1. – Казань: ООО «Конверт», 2020. – С. 104-106.

2. *Сорокин, В.О., Фатыхов, М.М.* Разработка программы имитатора генератора случайных чисел различными методами распределения случайной величины // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей по итогам XII Международной научной конференции, Казань, 30-31 декабря 2020 года. Ч. 1. – Казань: ООО «Конверт», 2020. – С. 258-261.

**COMPLEX SIGNAL WITH PHASE DISTORTIONS
SPECTRUM AND SUBSEQUENT IIR FILTER STUDYING
ADDON FOR AN EDUCATIONAL LABORATORY
SIMULATION BENCH, DEVELOPED
IN THE GNU OCTAVE**

Chugunov A.A., Zaripov R.F.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The article briefly outlines a method for laboratory simulation bench functionality expanding, which is a necessary training material for CAD database developers.

С Е К Ц И Я 4

**УСТРОЙСТВА СВЧ, АНТЕННЫ,
РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ
СОВМЕСТИМОСТЬ**

УДК 519.642:537.86

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ДИФРАКЦИИ НА БЕСКОНЕЧНО ТОНКОМ ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩЕМ ДИСКЕ

Полянский И.С., Кетух Д.К.

(¹ФГКВООУ ВО Академия ФСО России)

В докладе рассматриваются алгоритмические особенности численного решения задачи дифракции на бесконечно тонком идеально проводящем диске Ω . Решение формируется методом Галеркина при определении аппроксимации $\tilde{\mathbf{J}}(\mathbf{x})$ поверхностной плотности тока $\mathbf{J}(\mathbf{x})$ на Ω , представленного многоугольником S ($\mathbf{x} \in S$) [1].

Особенность решения состоит в формировании гладкой $\tilde{\mathbf{J}}(\mathbf{x}) = \tilde{\mathbf{J}}_e(\mathbf{x}) + \tilde{\mathbf{J}}_h(\mathbf{x})$, заданной суммой токов электрического $\tilde{\mathbf{J}}_e(\mathbf{x})$ и магнитного $\tilde{\mathbf{J}}_h(\mathbf{x})$ типов. В свою очередь $\tilde{\mathbf{J}}_e(\mathbf{x}) = \sum_{n=1}^N c_n^e \cdot \psi_n^e(\mathbf{x})$ и $\tilde{\mathbf{J}}_h(\mathbf{x}) = \sum_{\bar{n}=1}^{\bar{N}} c_{\bar{n}}^h \cdot \psi_{\bar{n}}^h(\mathbf{x})$ ($c_n^e, c_{\bar{n}}^h$ – искомые коэффициенты разложения) составляются в системах глобальных относительно S векторных базисных функций $\psi_n^e(\mathbf{x})$ и $\psi_{\bar{n}}^h(\mathbf{x})$, которые конструируются на основе модифицированных многочленов Цернике при удовлетворении последних граничным условиям Дирихле и Неймана соответственно [2].

Для численного расчета интегралов, полученных в ходе решения интегро-дифференциального уравнения [3], S разбивается на M треугольных областей S_m ($m = \overline{1, M}$) [4]. Интегралы по S_m вычисля-

ются кубатурным методом, в котором узлы интегрирования соответствуют корням многочленов Дубинера-Курнвиндера.

Приведенные результаты с примерами численного решения различных тестовых задач более подробно обсуждаются в докладе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Полянский, И.С., Степанов, Д.Е., Кетух, Д.К., Шевченко, В.А.* Электродинамический анализ зеркальных антенн в приближении барицентрического метода // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2020. – Т. 23. – № 4. – С. 36-47.

2. *Ильинский, А.С., Полянский, И.С., Степанов, Д.Е.* О сходимости барицентрического метода в решении внутренних задач Дирихле и Неймана в R^2 для уравнения Гельмгольца // Вестник удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 3-18.

3. *Ильинский, А.С., Полянский, И.С., Степанов, Д.Е.* Решение задач дифракции электромагнитных волн на экранах произвольной формы барицентрическим методом // Прикладная Математика и информатика: Труды факультета ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова. – 2020. – № 65. – С. 15-30.

4. *Сомов, А.М., Архипов, Н.С., Полянский, И.С., Степанов, Д.Е.* Расчет диаграммы направленности зеркальных антенн в приближении методов физической оптики и физической теории дифракции // Труды научно-исследовательского института радио. – 2015. – № 2. – С. 43-53.

NUMERICAL SOLUTION OF THE PROBLEM OF DIFFRACTION ON AN INFINITELY THIN PERFECTLY CONDUCTING DISK

Polyanskii I.S., Ketukh D.K.

(The Academy FGS of Russia)

In the report, numerical solution of the diffraction problem on an infinitely thin perfectly conducting disk is considered. The feature

of the algorithm is in the application of global basis functions which are based on the modified Zernike polynomials. The applied modification makes it possible to isolate the surface current density on the illuminated and shadowed sides of the disk.

УДК 623.746:621.396.67

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДОСТУПНОСТИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ В ИОНОСФЕРНОМ КАНАЛЕ

Разиньков С.Н., Разинькова О.Э.

*(ФГКВООУ ВО «ВУНЦ ВВС "Военно-воздушная академия имени
профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина МО РФ"»)*

В интересах рационального распределения частотно-временного ресурса линий дальней радиосвязи [1] требуется определять условия электромагнитной доступности (ЭМД) [1, 2] абонентов по значениям наименьшей (НПЧ), максимальной применимых частот (МПЧ) [1] и пространственно-энергетических характеристик сигналов в ионосферном канале. Периоды времени устойчивого приема устанавливаются при наличии возможных изменений лучевых траекторий и замираний сигналов вследствие рефракции в ионизированных слоях атмосферы при суточных и сезонных флюктуациях параметров [1].

В предлагаемой работе представлена модель прогноза ЭМД источников радиоизлучений и выявлены закономерности изменения МПЧ ионосферного канала при различных высотах и электронной плотности слоев ионосферы. Найдены зависимости угла наклона фронта ионосферной волны [1, 2] в вертикальной плоскости от дальности до передатчика.

На основе закономерностей изменения электрического поля передатчика в полосе частот, ограниченной значениями НПЧ и МПЧ, при контроле отношения сигнал-шум на входе приемника установлены зоны ЭМД абонентов линии связи в различное время года и суток.

По оценкам МПЧ ионосферного канала [1, 2] с применением азимутально-угломестного пеленгатора [2, 3] найдены углы наклона траекторий при приеме сигналов и путем совместной обработки полученных результатов с данными о высотах слоев ионосферы, изме-

ренных активной радиолокационной станцией вертикального зондирования [3], установлены позиции размещения радиостанций дальней радиосвязи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин, О.В. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / О.В. Головин, С.П. Простов. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2006. – 598 с.

2. Разиньков, С.Н., Решетняк, Е.А. Экспериментальная оценка точности местоопределения источников радиоизлучения диапазона на высоких частот // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2017. – Т. 20. – № 1. – С. 19-25.

3. Разиньков, С.Н., Решетняк, Е.А., Жидко, Е.А. Измерение координат источников радиоизлучения на высоких частотах угломерным и угломерно-дальномерным методами // Метрология. – 2019. – № 4. – С. 33-50.

MODEL FOR PREDICTION OF ELECTROMAGNETIC AVAILABILITY OF SOURCES OF RADIO EMISSIONS IN IONOSPHERIC CHANNEL

Razinkov S.N., Razinkova O.E.

(Military Educational and Scientific Center of Air Force «Air Force Academy named after Professor N.Ye. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin»)

A model of prediction of electromagnetic availability of radio emission sources was regularities of changes in the smallest and maximum applicable ionosphere channel were revealed in the interests of rational distribution of the time-frequency resource of long-distance radio communication lines developed.

УДК 621.396:620.3

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА ПОДЛОЖКИ И ЕЕ ТОЛЩИНЫ НА ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ И РЕЗОНАНСНЫЕ ЧАСТОТЫ ГРАФЕНОВОЙ ПАТЧ-НАНОАНТЕННЫ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА

Бражге Р.А., Лебедев Е.Ю.

(Ульяновский государственный технический университет)

В работе [1] авторами была предложена модель графеновой плазмон-поляритонной патч-наноантенны терагерцевого диапазона в виде фрактальной структуры типа «ковер Серпинского» в четвертой итерации со стороны основного треугольника, равной 32 гексагонам графена (рис. 1).

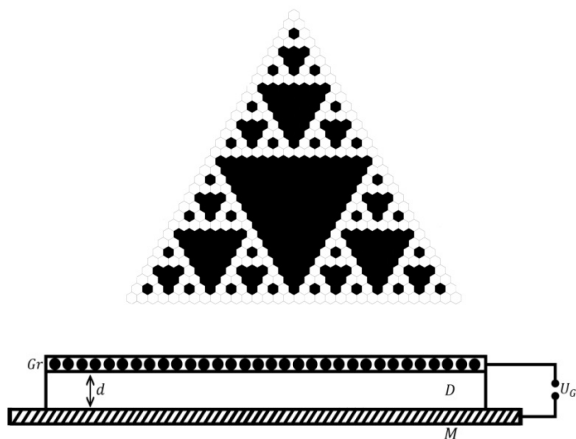


Рис. 1. Геометрия исследуемой наноантенны:
 Gr – графен; D – диэлектрик (SiC); M – металл; U_G – затворное напряжение

Представляем результаты исследования влияния материала и толщины подложки на резонансные частоты, ширину полосы частот, обратные потери (табл. 1) и диаграмму направленности такой мультиполосной наноантенны (рис. 2).

Таблица 1

Влияние материала подложки ($d = 10$ нм) исследуемой наноантенны на ее характеристики на основной резонансной частоте

Материал	Резонансная частота, ГГц	Относительная ширина полосы частот	Максимальные обратные потери, дБ
SiC	17,2	0,730	-92,1
SiO ₂	20,1	0,996	-90,3
GaAs	16,8	0,699	-92,4

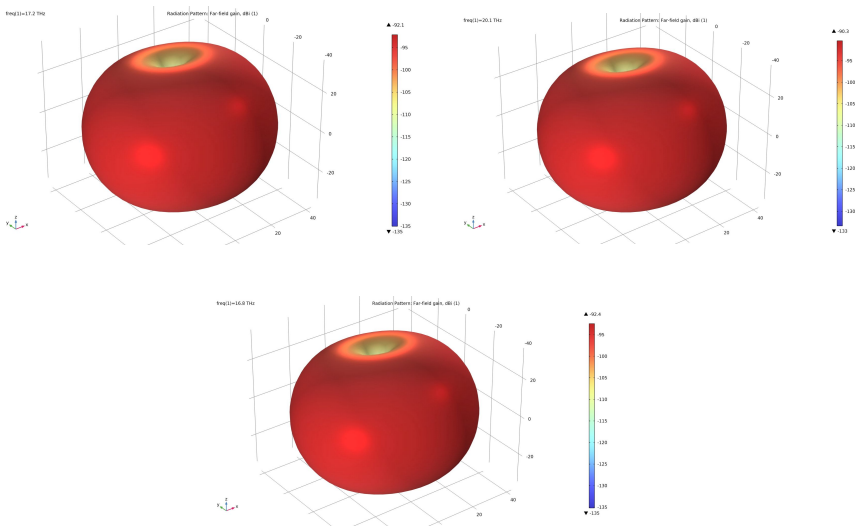


Рис. 2. Диаграммы направленности исследуемой наноантенны на основной резонансной частоте для подложек из SiC, SiO₂, GaAs

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браже, Р.А., Лебедев, Е.Ю. Терагерцевая фрактальная графеновая патч-наноантенна типа «ковёр Серпинского» // Материалы всерос. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций (г. Самара, 25-28 апреля 2023 г.). – Самара: ООО «АРТЕЛЬ», 2023. – 220 с.

**INFLUENCE OF THE SUBSTRATE MATERIAL AND
ITS THICKNESS ON THE RADIATION PATTERN
AND RESONANT FREQUENCIES OF GRAPHENE PATCH
NANOANTENNAS OF THE TERAHERTZ RANGE**

Brazhe R.A., Lebedev E. Yu.

(Ulyanovsk State Technical University)

The results of the study of the effect of the substrate material and thickness on the resonant frequencies, bandwidth, reverse losses and the radiation pattern of a graphene plasmon-polariton patch nanoantenna of the terahertz range are presented.

УДК 621.396.67.012.12

МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТА ПЛОСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Гутерман Н.Е., Токарев П.А.

(Воронежский государственный университет)

Системы беспроводной связи, использующие технологию *massive MIMO*, являются неотъемлемой частью высокоскоростных стандартов нового поколения. Обеспечение необходимого качества обслуживания пользователей влечет за собой увеличение пропускной способности, что, в свою очередь, подразумевает наличие антенных систем с большой апертурой. Таким образом, учитывая существенные ограничения, накладываемые физическим пространством, необходимо добиться максимальной скорости передачи данных. В докладе кратко излагается методика оптимизации диаграммы направленности антенного элемента с целью увеличения эргодической пропускной способности.

При рассмотрении системы связи учитывалась корреляция между подканалами. Этот эффект отражен в используемой нами модели Кронекера. Основываясь на подходе и допущениях, изложенных в работе [1], приходим к тому, что максимум пропускной способности будет достигаться при максимальном значении определителя корреляционной матрицы, элементами которой являются соответствующие коэффициенты корреляции.

Вычисление коэффициентов корреляции подразумевает усреднение по углу места и азимуту. Их совместное распределение можно факторизовать и использовать законы Лапласа и фон Мизеса соответственно. Модель Кронекера в совокупности с плотностями вероятности углов прихода и излучения была верифицирована с моделью канала, заложенной в пакете моделирования *QuaDRiGa*. Диаграммы направленности элементов аппроксимировались в соответствии с данными работы [2]. Следующие зависимости демонстрируют оптимальные значения ширины диаграмм по уровню -3 дБ (рис. 1).

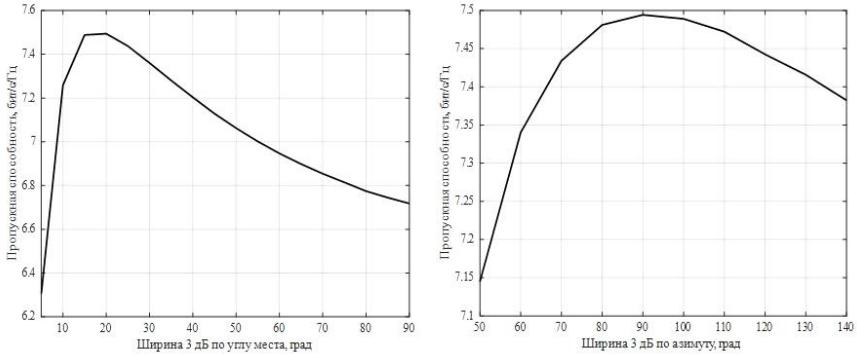


Рис. 1. Зависимости пропускной способности от параметра диаграммы направленности антенного элемента

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pang, L. et al.* Capacity Analysis and Optimal Spacing Design for Compact Array Massive MIMO Systems with Finite Aperture // IEEE COMMUNICATIONS LETTERS. – 2022. – Vol. 26. – № 10. – Ph. 2282-2286.

2. *Kammoun, A., Khanfir, H., Altman, Z., Debbah, M., Kamoun M.* Preliminary Results on 3D Channel Modeling: From Theory to Standardization // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2014. – Vol. 32. – № 6. – Pp. 1219-1229.

THE METHOD OF PLANAR ANTENNA ARRAY ELEMENT RADIATION PATTERN OPTIMIZATION

Guterman N.E., Tokarev P.A.

(Voronezh State University)

A general approach to optimizing the radiation pattern of planar antenna array element in order to maximizing ergodic channel capacity is described.

УДК 621.317.757

УПРАВЛЯЮЩЕЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РЕЗОНАТОРОВ СВЧ

Чесноков А.А.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В работе рассматриваются аспекты разработки программного обеспечения, предназначенного для использования в резонансных датчиках СВЧ. Эти аспекты включают в себя теорию резонансных датчиков, их преимущества, а также цели разработки программного обеспечения и возможности

1. Введение. Резонансные датчики СВЧ представляют собой мощное средство для исследования диэлектрических свойств материалов, что делает их весьма востребованными в различных сферах, таких как наука, медицина, промышленность и телекоммуникации [1-2].

Таким образом, для обеспечения удобства работы с этими датчиками и более эффективного анализа полученных данных необходима разработка специализированного программного обеспечения (ПО).

2. Цель и возможности программного обеспечения (ПО). Программное обеспечение (ПО) резонансных датчиков используется для управления и автоматизации измерительных процессов, обработки, анализа и визуализации данных, получаемых от датчиков.

Программа выполняет множество функций, определенных при ее разработке. Первое, что программа делает, это принимает данные и затем их отфильтровывает по полосовому фильтру Баттерворта и при желании строит график отфильтрованного сигнала. Далее программа рассчитывает мнимую и действительную части диэлектрической проницаемости среды, если известна калибровочная функция, если не известна, то считает коэффициенты неизвестной калибровочной функции.

3. Заключение. Разработанное ПО для диэлектрических анализаторов СВЧ успешно достигает поставленных целей и требований,

обеспечивает точные и надежные измерения, а также обладает удобным и интуитивно понятным пользовательским интерфейсом, что делает его применимым для широкого круга пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ишкаев, Т.М.* Непланарные полосковые СВЧ-структуры для диагностики диэлектрических материалов // Материалы 63-й Всероссийской научной конференции МФТИ. – Москва. – April, 2021. – №. 12. – С. 152-156.

2. *Grune, D., Cerial, J.H., Jacobs.* Parsing Techniques: A Practical Guide: monographs in Computer Science. – California: Springer, 2008. – Pp. 11-13.

CONTROL SOFTWARE FOR MICROWAVE RESONATORS

Chesnokov A.A.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The paper considers aspects of software development intended for use in resonant microwave sensors. These aspects include the theory of resonant sensors, their advantages, as well as software development goals and capabilities

УДК 621.317.335.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ-ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ АНАЛИЗА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА

Нигматуллин Р.Р.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В данной работе представлена конструкция чувствительного элемента для измерения комплексной диэлектрической проницаемости порошковых материалов, приведены частотные зависимости коэффициента передачи при разной толщине материала.

В последнее время возрос интерес к диэлектрическому анализу твердых и порошкообразных материалов. Исследование диэлектрической проницаемости различных материалов проводилось с целью выявления изменений их физико-химических свойств.

Предлагаемые варианты преобразовательных элементов основаны на двух связанных полосковых резонаторах, между которыми находится исследуемый порошок (рис. 1).

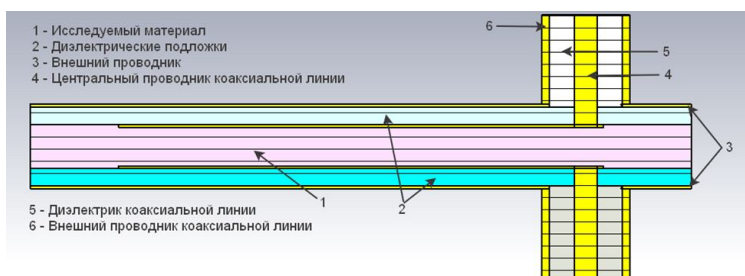


Рис. 1. Конструкция предлагаемого чувствительного элемента

Для возбуждения микрополосковых линий используется коаксиально-полосковый переход.

Было проведено моделирование датчика с вариациями толщины исследуемого материала от 1 до 9 мм с шагом 1 мм.

По рис. 2 видно, что характеристика при толщине исследуемого материала $h = 5$ мм имеет амплитуду меньше, чем при $h = 10$ мм, при этом резонанс более выраженный.

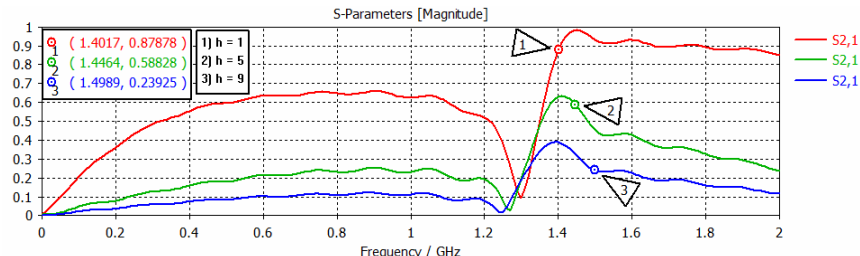


Рис. 2. Семейство графиков частотной зависимости коэффициента передачи S21

В данной работе был исследован СВЧ-преобразовательный элемент для измерения зависимости изменения диэлектрической проницаемости порошков от плотности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tong, L., Zha, Haihui, Gu, Xingfa. The complex permittivity measurement of powder materials and the dielectric constant of lunar soil // Measurement. – 2014. – Vol. 48. – Pp. 6-12

MODELING OF A MICROWAVE ELEMENT FOR ANALYZING THE DIELECTRIC CONSTANT OF A POWDER MATERIAL

Nigmatullin R.R.

(Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI)

This paper presents the design of a sensing element for measuring the complex permittivity of powder materials. The frequency dependences of the transmission coefficient for different thicknesses of the material are also given.

О ВЫБОРЕ ЭФФЕКТИВНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Алашеева Е.А.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В работе рассмотрен алгоритм расчета характеристик параболической антенны, представляющей собой излучатель с параболическим отражателем.

Для численного решения электродинамической задачи в работе использован метод моментов, эффективность которого зависит от удачного выбора базисных функций [1].

Решение поставленной задачи было сведено к решению уравнения Фредгольма второго рода относительно составляющей плотности тока j_{0x} :

$$-2H_{0y}(\vec{r}_0) = j_{0x}(\vec{r}_0) + \iint_S \left(-2j_{0x}(\vec{r}) \frac{\partial G}{\partial n} \sqrt{1+4x^2} \right) dx dy, \quad (1)$$

где G – функция Грина; n – нормаль к поверхности; H_{0y} – составляющая вектора напряженности магнитного поля.

Из табл. 1, где приведены результаты анализа использования для математического моделирования различных базисных функций, видно, что для решения данной задачи наиболее эффективно использование рядов Фурье и тригонометрических сплайнов [2].

Но больший интерес вызывает возможность разработки более универсального алгоритма, способного решать более широкий круг задач. В таком случае использование базисных функций в виде рядов Фурье проиграет применению тригонометрических сплайнов.

**Использование различных базисных функций
для расчета характеристик параболической антенны**

Базисные функции	Время решения задачи, мин.	Число функций	Возможность интеграции в другие задачи
Сплайны степени $n - 1$ дефекта 1	40	1000	Интеграция затруднительна из-за большого размера матрицы импедансов
Ряд Фурье	5	5	Эффективно использование только для данной задачи
Тригонометрические сплайны	5	3	Алгоритм не проверялся для других задач

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алашеева, Е.А.* Метод вейвлет-Галеркина решения интегральных уравнений Фредгольма в двумерных областях // Вестник СамГУ. – 2006. – № 9. – С. 24-29.
2. *Бурова, И.К., Демьянович, Ю.К.* О гладкости сплайнов // Математическое моделирование. – 2004. – № 12. – С. 40-43.

ON THE CHOICE OF AN EFFECTIVE MATHEMATICAL APPARATUS FOR CALCULATING THE CHARACTERISTICS OF A PARABOLIC ANTENNA

Alasheeva E.A.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

The using of various basis functions for calculating the characteristics of a parabolic antenna is studied. It is shown that the using of Fourier series and trigonometric splines is most effective for solving this problem.

О ВЫБОРЕ ЭФФЕКТИВНОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПРОВОЛОЧНОЙ АНТЕННЫ

Алашеева Е.А., Рогова Н.В.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В работе рассмотрен алгоритм расчета характеристик тонкопроволочной антенны. В настоящее время существует большое число вариаций численного моделирования задачи по расчету ее электродинамических характеристик. Также данная задача представляет интерес при дальнейшем усложнении геометрии излучателя и возможности отыскания эффективного алгоритма решения двумерных задач [1]. Для численного решения электродинамической задачи в работе использован метод Галеркина [2]. Решение поставленной задачи было сведено к решению уравнения Фредгольма второго рода относительно электрического тока I :

$$E(l) = \int_L \left[i\omega\mu_0 G(l, l') I(l') - \frac{1}{i\omega\epsilon_0} \frac{\partial G(l, l')}{\partial l} \frac{\partial I(l')}{\partial l'} \right] dl, \quad (1)$$

где $G(l, l')$ – функция Грина; ω – круговая частота; $E(l)$ – напряженность электрического поля; ϵ_0 , μ_0 – электрическая и магнитная постоянные вакуума, соответственно; L – контур интегрирования вдоль тонкопроволочной антенны.

Из табл. 1, где приведены результаты анализа для математического моделирования различных базисных функций, видно, что при решении данной задачи наиболее эффективно использование рядов Фурье. Предлагаемый алгоритм можно применять для решения более сложных проблем, в частности, с двумерной пространственной геометрией излучателя.

**Использование различных базисных функций
для расчета характеристик тонкопроволочной антенны**

Базисные функции	Время решения задачи, мин.	Число функций	Возможность интеграции в другие задачи
Сплайны степени $n - 1$ дефекта 1	1	10	Можно интегрировать в другие задачи при увеличении числа функций
Ряд Фурье	0,3	3	Можно интегрировать в алгоритм решения некоторых двумерных задач
Тригонометрические сплайны	1	3	Можно интегрировать в алгоритм решения некоторых двумерных задач

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бахвалов, Н.С.* Численные методы: учебное пособие / Н.С. Бахвалов, А.А. Корнев, Е.В. Чижонков. – Москва: Бином, 2016. – 352 с.
2. *Калиткин, Н.Н.* Численный анализ: учебник / Н.Н. Калиткин. – Москва: Academia, 2018. – 48 с.

ON THE CHOICE OF AN EFFECTIVE MATHEMATICAL APPARATUS FOR CALCULATING THE CHARACTERISTICS OF A THIN-WIRE ANTENNA

Alasheeva E.A., Rogova N.V.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

The using of various basis functions for calculating the characteristics of a thin-wire antenna is studied. It is shown that the using of Fourier series is most effective for solving this problem.

УДК 537.87

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЛИК РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

*Гайнулина Е.Ю., Корнев Н.С., Назаров А.В., Репин А.В.,
Трезубенко Д.А.*

(ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Перспективным методом исследования быстропротекающих процессов является микроволновая радиоинтерферометрия [1]. Для развития задач газодинамических исследований в РФЯЦ существует острая потребность в создании техники субмиллиметрового диапазона (субмм) длин волн, позволяющей увеличить точность и разрешающую способность измерения перемещений и скоростей объектов диагностики.

В докладе приведены результаты проработки технического облика радиоинтерферометра субмиллиметрового диапазона длин волн (РИСМ-01) и его составных частей: блока питания, блока передатчиков и приемопередающего модуля, выбрана элементная база с учетом условий эксплуатации измерительного комплекса. Блок питания преобразует переменное напряжение в постоянные напряжения с низким уровнем пульсаций для питания составных частей РИСМ-01 [2]. Блок передатчиков представляет собой двухчастотное передающее устройство, формирующее выходные сигналы 3-миллиметрового диапазона длин волн. Приемопередающий модуль преобразует входные сигналы 3-миллиметрового диапазона длин волн в выходные сигналы диапазона и формирует опорный и информационный сигналы промежуточных частот. Проработан также вопрос построения антенно-фидерной системы (АФС) РИ.

Рассмотрен комбинированный вариант, содержащий протяженные участки сверхразмерного волновода и короткие гибкие участки диэлектрического волновода, а также предложен вариант АФС, основанный на формировании сфокусированного на объекте волнового пучка двухзеркальной квазиоптической антенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Канаков, В.А., Катин, С.В., Корнев, Н.С., Михайлов, А.Л., Назаров, А.В., Орехов, Ю.И., Родионов, А.В., Хворостин, В.Н.* Состояние и перспективы развития микроволновой радиointерферометрии для диагностики газодинамических процессов // *Антенны*. – 2016. – Вып. 1 (221). – С. 49-54.

2. *Корнев, Н.С., Минеев, К.В., Назаров, А.В., Османов, Р.Р., Титов, В.Г.* Выбор оптимального источника питания для КВЧ радиointерферометрического комплекса // *Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник научно-технических статей*. – Нижний Новгород: Изд-во НГТУ, 2017. – С. 13-15.

TECHNICAL COMPOSITION OF THE SUBMILLIMETER RADIOINTERFEROMETER

*Gaynulina, N.S. Kornev, A.V. Nazarov, A.V. Repin,
D.A. Tregubenko*

*(FSUE RFNC Russian Scientific Research Institute
of Experimental Physics)*

The report presents the elaboration results of radiointerferometer and its components technical appearance in submillimeter wavelength range: power supply, transmitter module, transceiver module. The element base is selected assuming operating conditions of the measuring complex. Constructing options of radiointerferometer antenna-feeder system is proposed: the combined feeder system which has length of 1..1,5 m and based on an extended oversized metal waveguide and a short section of a dielectric waveguide to ensure the line flexibility; and second option based on developed two-mirror split-focus antenna, which focuses the wave beam on diagnosed object at 1 m distance from the radiointerferometer. The development of described waveguide systems provides the possibility of fast gas-dynamic processes diagnosing in the submm range.

УДК 537.876.46

**ПРИБЛИЖЕННЫЕ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ
ДЛЯ ТОНКОГО КИРАЛЬНОГО СЛОЯ
С КООРДИНАТНОЙ ФОРМОЙ ПОВЕРХНОСТИ,
КОНФОРМНО РАСПОЛОЖЕННОГО ВОКРУГ ОБЪЕМА
СВЕРХПРОВОДНИКА**

Чуйкова Н.А.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В настоящее время активно изучаются композиционные структуры СВЧ диапазона, называемые метаматериалами. Такие структуры проявляют электромагнитные свойства, не типичные для материалов естественного происхождения. Одним из типов метаматериалов являются киральные среды, которые создаются на основе пространственных матриц-решеток, в узлах которых расположены проводящие элементы зеркально асимметричной формы с произвольной ориентацией их геометрических осей.

Одной из методик нахождения их характеристик является использование приближенных граничных условий (ПГУ) импедансного типа для узких по сравнению с длиной волны киральных слоев. В частности, в работе [1] получены ПГУ для тонкого кирального слоя, расположенного на идеально проводящей поверхности.

В данной работе используется композиционная оболочка из кирального метаматериала (КММ), конформно-покрывающая сверхпроводящий слой.

Приближенные граничные условия в работе были выведены из уравнений Максвелла в интегральной форме для формы поверхностей слоев, которые могут быть описаны в произвольной ортогональной криволинейной системе координат $\{u, v, w\}$.

В результате были получены односторонне приближенные граничные условия для тонкого кирального слоя конформно расположенного вокруг сверхпроводящего ядра, которые связывают между

собой тангенциальные составляющие векторов электромагнитного поля во внешней области 1 $\vec{E}_\tau^{(1)}, \vec{H}_\tau^{(1)} (\tau = u, v)$:

$$E_u^{(1)} = F_1 \left[Z_{s2}(\omega), \varepsilon, \mu, \chi, w_h, w_s; \zeta_{uv}^{(1)}; H_v^{(1)}, H_u^{(1)} \right];$$

$$E_v^{(1)} = F_2 \left[Z_{s2}(\omega), \varepsilon, \mu, \chi, w_h, w_s; \zeta_{uv}^{(2)}; H_v^{(1)}, H_u^{(1)} \right],$$

где $w_h = w_2 - w_1$ криволинейная толщина кирального слоя; w_s – криволинейный радиус сверхпроводящего ядра; $\zeta_{uv}^{(1,2)}$ – контурные функции, учитывающие криволинейную форму поверхности структуры; $Z_{s2}(\omega) = ik\delta \operatorname{ch}(d/\delta)$ – импеданс сверхпроводящего слоя толщиной d ; $\delta^{-2} = \delta_L^{-2} + 2i\delta_{ck}^{-2}$ – эффективная комплексная глубина проникновения поля в сверхпроводник, учитывающая экранирование поля мейснеровскими токами и скин-эффект в состоянии с нормальной проводимостью; ε, μ – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости кирального слоя; χ – параметр киральности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Осинов, О.В., Панфёрова, Т.А.* Приближенные граничные условия для тонких киральных слоев с криволинейной формой поверхности // Радиотехника и электроника, 2010. – Т. 55. – № 5. – С. 568-570.

APPROXIMATE BOUNDARY CONDITIONS FOR A THIN CHIRAL LAYER WITH A COORDINATE SURFACE SHAPE CONFORMALLY LOCATED AROUND THE VOLUME OF A SUPERCONDUCTOR

Chuikova N.A.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

Approximate boundary conditions are obtained for a thin chiral layer with a coordinate surface shape conformally located around the volume of a superconductor.

УДК 621.396.67

РАЗРАБОТКА УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПАССИВНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ SIW-ТЕХНОЛОГИИ

Тихонов Ю.С., Мирошниченко А.Ю., Исаев А.Д.

*(Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.)*

Фрактальные антенны, изготовленные по SIW-технологии, были исследованы в работе [1] на основе полученных результатов кафедрой «Электронные приборы и устройства» СГТУ имени Гагарина Ю.А. Было принято решение о внедрении данных антенн в учебный процесс по дисциплинам «Электродинамика и микроволновая техника».

Разработанные макеты (рис. 1) представлены в нескольких вариантах: без SIW технологии, с SIW технологией с одним и двумя рядами стержней. Антенны выполнены на диэлектрической подложке FR-4.

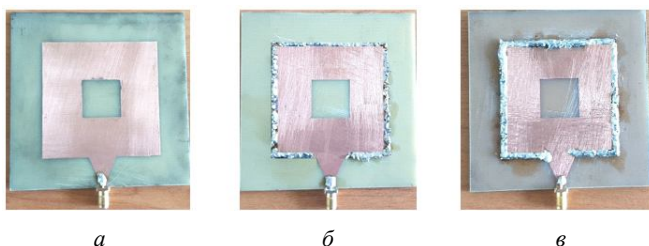


Рис. 1. Геометрия фрактальных антенн:

a – без SIW технологии; *б* – с SIW технологией с одним рядом стержней;
в – с SIW технологией с двумя рядами стержней

Учебно-лабораторная установка для исследования коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) антенн (рис. 2) включает в себя измерительную линию P1-18, СВЧ генераторы частот Г4-79 и Г4-80. В качестве измерительного прибора используется милливольтметр ВЗ-48.



Рис. 2. Учебно-лабораторная установка

Расчеты проводились в студенческом программном пакете электродинамического расчета Ansys HFSS в частотном диапазоне 1-5 ГГц. Теоретические и экспериментальные результаты исследования КСВН фрактальных антенн показаны на рис. 3.

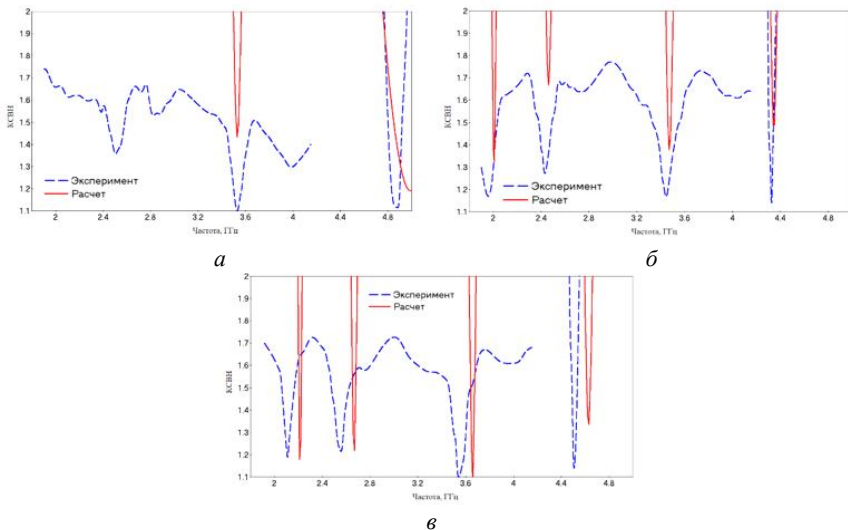


Рис. 3. Зависимость коэффициента стоячей волны по напряжению от частоты в диапазоне 1,9-5 ГГц:

а – без SIW технологии; *б* – с SIW технологией с одним рядом стержней;
в – с SIW технологией с двумя рядами стержней

При переходе от фрактальной антенны без SIW-технологии к фрактальным антеннам, выполненным по SIW-технологии, можно увидеть, что появляются новые резонансные частоты, имеющие хорошее согласование в частотных диапазонах 2,4-2,6 ГГц, 3,4-3,6 ГГц и 4,2-5 ГГц. При введении дополнительного второго ряда стержней происходит сдвиг вверх по частотному диапазону.

По результатам расчетов и экспериментов были разработаны методические указания для выполнения лабораторной работы по исследованию фрактальных антенн «ковер Серпинского», выполненных по SIW-технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов, Ю.С., Иванов, В.А., Исаев, А.Д., Мирошниченко, А.Ю., Чернышев, М.А. Исследование планарных фрактальных антенн «ковер Серпинского», выполненных по SIW технологии // Сб. докл. XII Всероссийской научно-технической конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ». – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. – С. 454-458.

DEVELOPMENT OF A LABORATORY WORK ON THE STUDY OF PASSIVE MICROWAVE DEVICES BASED ON SIW-TECHNOLOGY

Tikhonov Y.S., Miroshnichenko A.Y., Isaev A.D.

(Yuri Gagarin State Technical University of Saratov)

The paper presents the results of the study of fractal antennas based on the «Sierpinski carpet» fractal using SIW-technologies. According to the results of research methodical instructions for the laboratory work were developed, which are used in the educational process by students of the department «Electronic Devices» in Yuri Gagarin State Technical University of Saratov.

ОЦЕНКА СХОДИМОСТИ РЕШЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ПАНЕЛЬНОЙ АНТЕННЫ С ПРОВОЛОЧНЫМ РЕФЛЕКТОРОМ

Аль-Нозайли Б.М.А., Табаков Д.П.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

На основе интегральных представлений электромагнитного поля, в тонкопроволочном приближении [1], рассмотрена задача электродинамического анализа панельной антенны с проволочным рефлектором (ПА). Внутренняя задача сведена к системе линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) с блочной матрицей [1]. Элементы блоков представляют собой матрицы взаимодействия. Решение СЛАУ осуществлялось модифицированным методом Гаусса – Зейделя (рис. 1).

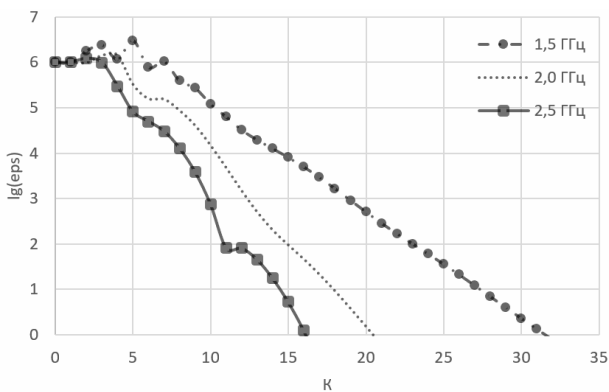


Рис. 1. Оценка сходимости для панельной антенны с проволочным рефлектором

Чтобы достичь быструю сходимость, проекционные функции необходимо выбирать с учетом формы собственных функций для отдельных элементов излучающей структуры. Сходимость ухудша-

ется для всех вариантов в области первого резонанса, когда между элементами антенны усиливается связь по полю. Таким образом, ухудшение сходимости является косвенным свидетельством наличия резонансов в излучающей системе. Важным моментом здесь также является асимптотическая линейность зависимости $\lg(\epsilon_{ps})$ от k , которая позволяет прогнозировать число итераций, необходимых для достижения заданной точности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tabakov, D.P., Al-Nozaili, B.M.A.* Calculation of Currents in Multiple-Element Radiating Structures by an Iteration Method // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2022. – Vol. 67. – № 7. – Pp. 812-819.

EVALUATION OF THE CONVERGENCE OF THE SOLUTION TO THE INTERNAL ELECTRODYNAMIC PROBLEM FOR A PANEL ANTENNA WITH A WIRE REFLECTOR

Al-Nozaili B.M.A., Tabakov D.P.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

A mathematical model of a panel with a wire reflector antenna has been built. A singular integral equation is obtained for determining the current distribution. A model for solving it is proposed.

ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ СПИРАЛЬНАЯ СТРУКТУРА И СОБСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА

Табакон Д.П., Майоров А.Г.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Рассмотрена цилиндрическая спиральная структура высотой H , радиуса a (рис. 1). С учетом центральной симметрии построена математическая модель структуры в виде пары интегральных уравнений (ИУ) относительно четной и нечетной составляющих функции тока на образующей. Решение произведено методом собственных функций (МСФ) [1]. Рассмотрено поведение собственных функций (СФ) в зависимости от частоты и при сжатии спирали.

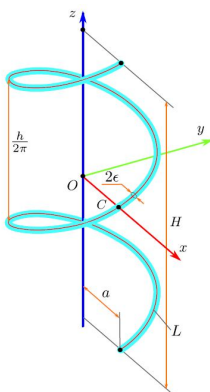


Рис. 1. Геометрия спиральной структуры

Показано что поведение СФ в зависимости от частоты носит резонансный характер. Для вытянутой спирали СФ имеют вид СФ тонкой вибраторной антенны. По мере сжатия спирали (при увеличении $\chi = a/H$) собственные функции становятся сложносоставными, т.е. каждую из них можно представить в виде суммы нескольких СФ вибраторной антенны, которые в свою очередь имеют гармонический вид.

При этом такое разложение СФ наблюдается лишь для определенных, периодически повторяющихся групп СФ, наиболее близких по частоте к резонансу (рис. 2).

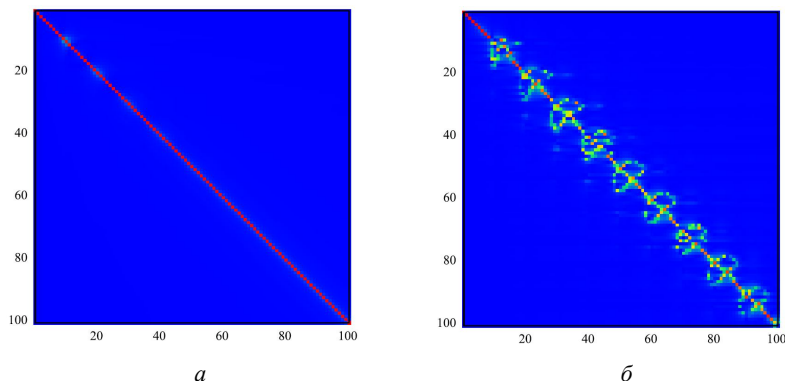


Рис. 2. Спектрограммы СФ при различных значениях χ :
 $a - \chi = 1/10$; $b - \chi = 1/5$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Табакон, Д.П.* Об описании излучения и дифракции электромагнитных волн методом собственных функций// Известия высших учебных заведений. Радиофизика. – 2021. – Т. 64, № 3. – С. 179-191.

CYLINDRICAL SPIRAL STRUCTURE AND EIGENFUNCTIONS OF THE INTEGRAL OPERATOR

Tabakov D.P., Mayorov A.G.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

A model of a spiral antenna is constructed. The solution is calculated by the method of eigenfunctions. The eigenfunctions depending on the frequency and under compression of the spiral are considered.

УДК 537.226.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ БРЭГГОВСКОЙ СТРУКТУРЫ С НЕРЕГУЛЯРНЫМ ЗЕМЛЯНЫМ ПРОВОДНИКОМ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Константинов Р.Р.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В данной работе представлена модель брэгговской структуры с нерегулярным земляным проводником. Также представлены графики коэффициентов отражения при различных значениях емкости сосредоточенных элементов.

Брэгговские структуры привлекли большое внимание благодаря своим свойствам, и их развитие осуществляется так же быстро, как развитие систем беспроводной связи и технологий изготовления. Множество основных применений таких структур осуществляется особенно в области СВЧ и низких миллиметровых волн [1].

Брэгговская структура с нерегулярностями в земляном проводнике (рис. 1) состоит из диэлектрической подложки, центрального проводника и двух земляных проводников. Сосредоточенные элементы подключаются в места перепада волнового сопротивления.

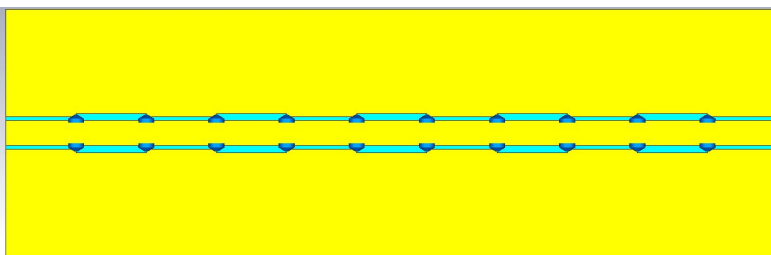


Рис. 1. Копланарная периодическая брэгговская структура с нерегулярностями в земляном проводнике

Измерения проводились для значений емкости от 0,1 до 1 пФ с шагом 0,1 пФ для более детального изучения влияния емкости сосредоточенных элементов на коэффициент отражения.

По семейству графиков коэффициента отражения (рис. 2) можно увидеть, что с увеличением емкости сосредоточенных элементов амплитуда резонанса, а также нижняя граница полосы заграждения смещается вниз по частоте.

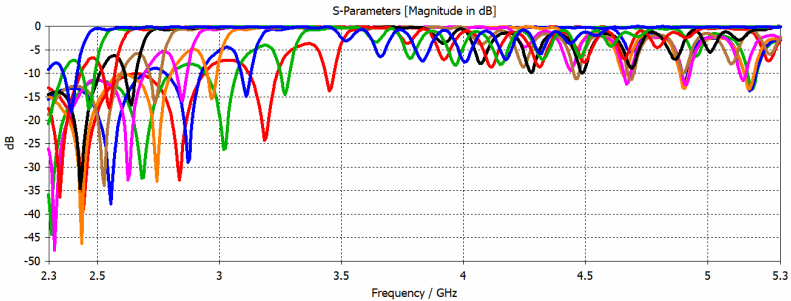


Рис. 2. Коэффициент отражения брэгговской структуры при различных значениях емкости сосредоточенных элементов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *C.H. Wu et al.* An Application of the Subwavelength Periodic Microstrip Guard Trace in High-Speed Circuits // IEEE Access. – 2022. – Vol. 10. – Pp. 42640-42655.

SIMULATION OF A BRAGG STRUCTURE WITH AN IRREGULAR GROUND CONDUCTOR WITH LUMPED ELEMENTS

Konstantinov R.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This paper presents a model of a Bragg structure with an irregular ground conductor. Also presented are graphs of reflection coefficients for various lumped element capacitance values.

УДК 621.385.632.1

**СНИЖЕНИЕ АВАРИЙНЫХ ОТКАЗОВ ЛБВ
МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА
В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА,
ПОВЫШЕНИЕ ИХ НАДЕЖНОСТИ**

Рахматулин М.В., Емелин И.А., Тихонов Ю.С.

*(АО «НПП «Алмаз», Саратовский государственный
технический университет имени Гагарина Ю.А.)*

В последнее время разработчики активно занимаются вопросами снижения аварийных отказов ЛБВ миллиметрового диапазона для космического назначения. Аварийные отказы, как правило, обнаруживаются после аварийных отключений ЛБВ при выполнении технологических операций с помощью технологического и измерительного оборудования с подачей всех питающих напряжений на ее электроды. Одной из основных причин аварийных отказов ЛБВ являются электрические пробои в газах между электродами. Такие проблемы требовали разработки новых технологий обезгаживания и откачки изделий.

Применяемые ранее технологии для изготовления ЛБВ после откачки не могли обеспечить качество обезгаживания деталей и стабилизацию атмосферы во внутреннем объеме ЛБВ миллиметрового диапазона, потому что между коллектором и электронной пушкой расположен протяженный и частично заполненный канал малого диаметра (в 2 – 4 раза меньше, чем в ЛБВ сантиметрового диапазона). Соответственно, это нарушает молекулярное течение газов при большом перепаде давления между узлами и не обеспечивает должного качества обезгаживания для ЛБВ миллиметрового диапазона.

Одним из решений стало внедрение в конструкцию ЛБВ электро-разрядного насоса (ЭРН). Совместная работа ГИН и ЭРН позволила повысить качество откачки и обезгаживания ЛБВ космического назначения, так как обезгаживание изделия происходило как со стороны электронной пушки, так и со стороны коллектора. Обезгажива-

ние ЛБВ осуществляется, начиная с операции «предварительные динамические испытания» (ПДИ) и продолжается в течение всего времени выполнения настройки МПФС и других технологических операций до холодного отпая технологических насосов [1].

Вторым решением данной проблемы стало внедрение в операции «предварительных динамических испытаний» (ПДИ) и «тренировки» технологии обезгаживания ЛБВ. На операции ПДИ обезгаживание деталей замедляющей системы (ЗС) и коллектора происходит за счет изменения напряжения замедляющей системы (ЗС) в импульсном режиме работы, начиная с большей скважности (не менее 100), плавно приближаясь к непрерывному режиму.

На начальном этапе юстировки МПФС обычно ток ЗС превышает предельно допустимую для настраиваемого типа ЛБВ величину в 2 – 3 раза, что может привести к расплавлению витков спирали при локальном оседании тока. Но в течение импульса длительностью 40 мкс температура витков спирали повышается незначительно. Поэтому импульсный режим на начальном этапе (до достижения токопрохождения 95 – 97 %) юстировки используется как более безопасный для ЛБВ по сравнению с непрерывным режимом.

Изменение напряжения ЗС также способствует более тщательному обезгаживанию ЛБВ. В импульсном режиме работы изменение напряжения ЗС может достигать $\pm 300\text{В}$ с шагом 50 В, так как изменение импульсного тока ЗС будет незначительным в отличие от непрерывного режима работы. В связи с этим необходимо более тщательно производить обезгаживание изделия в импульсном режиме работы ЛБВ. Изменяя напряжение на ЗС, электронный пучок начинает осаживаться на различных витках спирали, тем самым обезгаживая ее. Также меняется остаточная энергия электронного пучка, что приводит к изменению выходной мощности и перераспределению тока электронного потока между ЗС и электродами коллектора, т.е. его обезгаживанию.

Данные решения позволили снизить аварийные отказы и, следовательно, улучшить надежность ЛБВ миллиметрового диапазона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Емелин, И.А., Евтушенко, В.А., Рахматуллин, М.В.* Защита замедляющих систем ламп бегущей волны космического назначения от разрушающего воздействия электронных потоков на этапах технологических испытаний в процессе производства // Сб. тез. работ XLIX Международной молодежной научной конференции «Гагаринские чтения 2023». – Москва: Перо, 2023. – С. 394-395.

REDUCTION OF ACCIDENTAL FAILURES OF MILLIMETER-WAVE TWTS DURING PRODUCTION, IMPROVEMENT OF THEIR RELIABILITY

Rakhmatulin M.V., Emelin I.A., Tikhonov Y.S.

*(Almaz NPP JSC, Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov)*

This paper discusses the main methods and solutions to improve the quality of pumping and degassing of millimeter-wave TWT during production. The first solution was the addition of an additional pump to the design, and the second was the introduction of TWT outgassing technology into the «pre-dynamic testing» and «training» operations.

БЕСПРОВОДНАЯ ЛИНИЯ СВЯЗИ СУБТЕРАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА

***Бирюков В.В.¹, Вакс В.Л.², Капустин С.А.¹, Малахов В.А.¹,
Панин А.Н.², Приползин С.И.², Раевская Ю.В.¹,
Раевский А.С.¹, Щербаков В.В.¹***

*(¹ Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева, ² Институт физики микроструктур РАН)*

Доклад посвящен описанию концепции и макета беспроводной линии связи субтерагерцевого диапазона. Выбранная рабочая частота 220 ГГц находится в окне прозрачности. Проведен расчет мощности сигнала передатчика при выбранном отношении сигнал/шум приемника для достоверной передачи информации по каналу связи. Необходимая мощность источника излучения при передаче сигнала со скоростью 1 Гб/с на расстояние 1 км составила 240 мкВт. Представлены обоснование выбора способа модуляции и вариант его реализации. Показано, что единственной подходящей схемой модуляции является схема с умножителями частоты, которая не позволяет передать на выход ни фазовую, ни квадратурную модуляции без искажений. Единственная модуляция, подходящая для такой схемы, – это амплитудная манипуляция ООК. Широкая полоса частот, равная 2,8 ГГц, занимаемая сигналом при скорости передачи 1 Гб/с, в указанном диапазоне частот занимает не более 1-2% от частоты несущей. Повышенные требования к помехоустойчивости системы передачи не предъявляются по причине отсутствия помех в этом диапазоне частот. На основе разработанных математических моделей проведен анализ прохождения амплитудно-манипулированного сигнала через диодные умножители и преобразователи частоты, входящие в состав приемо-передатчика линии связи. Точность восстановления амплитудно-манипулированного сигнала при любых коэффициентах умножения, а также его амплитуда зависят от наклона ВАХ диода, угла отсечки, полосы пропускания и частоты среза фильтров.

Расчет энергетического потенциала системы показал, что необходимо использовать антенны с коэффициентом усиления не менее 50 дБ. В конструктивном и технологическом плане наиболее подходящей оказалась антенна Кассегрена. Расчеты, проведенные с использованием САПР ANSYS HFSS, позволили определить допуски на изготовление отдельных элементов антенны, учесть неточности при изготовлении и настройке антенны (несовпадение геометрических осей симметрии рупора, субрефлектора и основного зеркала, смещение элементов антенны в фокальной плоскости и вдоль оси симметрии антенны), а также проследить изменение характеристик антенны при изменении частоты. Экспериментальное исследование антенны проводилось по стандартной методике измерения в дальней зоне в измерительной лаборатории.

Были проведены испытания действующего макета приемо-передающего канала связи с системами автономного питания с использованием бензиновых электрогенераторов. Определение значения BER осуществлялось косвенным методом по калибровочной таблице через измерения отношения сигнал/шум на выходе усилителя ПЧ приемного устройства канала связи.

В докладе также теоретически рассматриваются альтернативные схемы построения передающего устройства.

WIRELESS COMMUNICATION LINE IN THE SUBTERAHERTZ RANGE

***Birukov V.V.¹, Vaks V.L.², Kapustin S.A.¹, Malakhov V.A.¹,
Panin A.N.², Pripolzin S.I.², Raevskaya Yu.V.¹, Rayevskii A.S.¹,
Shcherbakov V.V.¹***

(¹ Nizhny Novgorod State Technical University,

² Institute of Microstructure Physics RAS)

This article discusses the issue of constructing a high-speed wireless communication line in the sub-terahertz frequency range.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ АНТЕННЫ КАССЕГРЕНА НА 118 ГГц

***Бирюков В.В., Воробьев И.А., Малахов В.А., Раевский А.С.,
Щербаков В.В.***

*(Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева)*

В настоящее время продолжают работы по освоению субтерагерцового диапазона. В беспроводной связи данный диапазон интересен для передачи больших объемов данных на дальние расстояния.

Основной проблемой использования субтерагерцового диапазона для построения беспроводных систем связи является низкая выходная мощность источников излучения, поэтому в таких системах целесообразно использовать антенны с большим коэффициентом усиления. К таким антеннам относятся антенны, построенные по схеме Кассегрена. Данная схема построения антенны позволяет получить узкую диаграмму направленности (ДН) с коэффициентом усиления более 40 дБ. Приведенные характеристики антенны в субтерагерцовом диапазоне в космических условиях должны обеспечивать беспроводную связь на расстоянии нескольких тысяч километров. Таким образом, представляет интерес рассмотрение антенны Кассегрена на частоте 118 ГГц с коэффициентом усиления не менее 55 дБ.

Антенна Кассегрена состоит из рупорного облучателя, вспомогательного зеркала – субрефлектора, представляющего собой одну ветвь гиперболоида вращения, фокусы которого совпадают с фазовым центром облучателя и фокусом основного зеркала. Основное зеркало это параболоид вращения. Для достижения коэффициента усиления 55 дБ, диаметр основного зеркала составляет 600 мм. Модель антенны Кассегрена рассчитывается в САПР Ansys HFSS.

Проанализировав экспериментальную установку с двумя антеннами Кассегрена на 220 ГГц, спроектированную ранее, было сделано

предположение о неэффективной передаче энергии от облучателя в виде пирамидального рупора к субрефлектору. Поэтому на первом этапе работы был смоделирован гофрированный конический рупор, в плоскости Е и Н которого разность в ширине ДН в направлении главного максимума не превышает 1,6 градуса, уровень боковых лепестков не превышает -40 дБ. Коэффициент усиления рупора составляет 22 дБ.

На данном этапе выполнения работы можно сделать вывод, что для получения коэффициента усиления 55 дБ на частоте 118 ГГц необходимо избежать переноса энергии за субрефлектор и добиться наименьшего уровня боковых лепестков, правильного амплитудного и фазового распределения токов на поверхности основного зеркала для получения узкой ДН. Использование конического гофрированного рупора дает выигрыш в 1.5 дБ по сравнению с пирамидальным рупором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Заикин, И.П.* Проектирование антенных устройств радиорелейных линий связи: учебное пособие / И.П. Заикин, А.В. Тоцкий, С.К. Абрамов. – Харьков: Изд-во ХАИ, 2006. – 90 с.

MODELING AND CALCULATION OF THE CASSEGRAIN ANTENNA AT 118 GHz

*Birukov V.V., Vorobyev I.A., Malakhov V.A., Rayevskii A.S.,
Shcherbakov V.V.*

(Nizhny Novgorod State Technical University)

The article considers a 118 GHz Cassegrain antenna model with an irradiator in the form of a corrugated conical horn.

ДИЗАЙН РУПОРА ДЛЯ СОПРЯЖЕНИЯ ОХЛАЖДАЕМОЙ ПРИЕМНОЙ МАТРИЦЫ ДИАПАЗОНА 90 ГГц С ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПУЧКА ОПТИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА БТА

*Капустин С.А.^{1,2,4}, Раевский А.С.¹, Вдовин В.Ф.^{2,4},
Гунбина А.А.², Тарасов М.А.³, Кукушкин Д.Е.⁴*

(¹Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева, ²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН», ³Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова, ⁴ФГБУН «Специальная астрофизическая обсерватория РАН»)

Отсутствие крупномасштабных инструментов субтерагерцового (субТГц) диапазона в России привело к созданию на базе оптического Большого Телескопа Альт-Азимутального (БТА) в САО РАН испытательной площадки для отечественных детекторов, а также для исследования некоторых актуальных астрономических задач в этом диапазоне. Качество поверхности оптического зеркала заведомо удовлетворяет требованиям в субТГц диапазоне, а исследование потерь на отражение образца-свидетеля показало, что они составляют не более 5%. Дополнительное преимущество данного проекта: наблюдения в субТГц диапазоне могут проводиться ранним утром или поздним вечером, что не мешает основной программе обсерватории, а лишь расширит функциональные возможности инструмента БТА. Для первичных тестовых испытаний субТГц приемника к рупорной конструкции не предъявляется особо жестких требований и вполне подойдет классический конический рупор. Однако у такой простой конструкции есть существенный недостаток – критическая частота волновода, в раскрытие которого можно было бы напрямую разместить детектирующую матрицу диаметром 9,2 мм, составляет 32,6 ГГц. Для обеспечения отсечки по частоте снизу можно использовать секцию запредельного волновода основного сечения с отсечкой

на 75 ГГц, диаметр которого составляет 2,34 мм. Диаметр приемной матрицы значительно больше, что не позволяет разместить ее напрямую в волноводе. Поэтому рассматривается конструкция встречных рупоров. Дополнительное требование – увеличить апертуру собирающего рупора до 20 мм. Это значительно упростит тракт корректирующей оптики, которая разрабатывается с целью обужения пучка и направления сигнала в окно криостата, а далее он уже через рупор будет передаваться к матрице приемных антенн с интегрированными в нее детекторами. Был спроектирован рупор диапазона 90 ГГц конструкции встречных рупоров как элемента квазиоптического тракта для согласования сигнала, собираемого 6-метровым зеркалом БТА с охлаждаемой матрицей субТГц диапазона частот в фокусе Несмита телескопа.

HORN DESIGN FOR COUPLING OF A COOLED 90 GHZ RECEIVING ARRAY WITH THE OPTICAL BEAM SYSTEM OF THE OPTICAL BTA TELESCOPE

***Kapustin S.A.^{1,2,4}, Raevskii A.S.¹, Vdovin V.F.^{2,4},
Gunbina A.A.², Tarasov M.A.³, Kukushkin D.E.⁴***

*(¹Nizhny Novgorod State Technical University, ²Institute of Applied Physics n. a. A.V. Gaponov-Grekhov RAS,
³Institute of Radio Engineering and Electronics
n.a. V.A. Kotelnikov, ⁴Special Astrophysical Observatory RAS)*

A 90 GHz horn was designed with a counter horn design as an element of a quasi-optical path to match the signal collected by the 6-meter BTA mirror with a cooled sub-THz frequency array at the Nasmith focus of the telescope.

УДК 621.396.674.37(1)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТРЕХМЕРНОЙ МИНИАТЮРИЗАЦИИ К АНТЕННЕ ВИВАЛЬДИ

Морозов С.В., Жабин Е.А., Баринов К.С.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

В этой работе описывается метод миниатюризации антенны, который основан на сжатии геометрии. Излучатель антенны выполнен на гофрированной подложке. Метод демонстрируется на примере сверхширокополосной антенны Вивальди (рис. 1), сконструированной на плоской гибкой подложке.

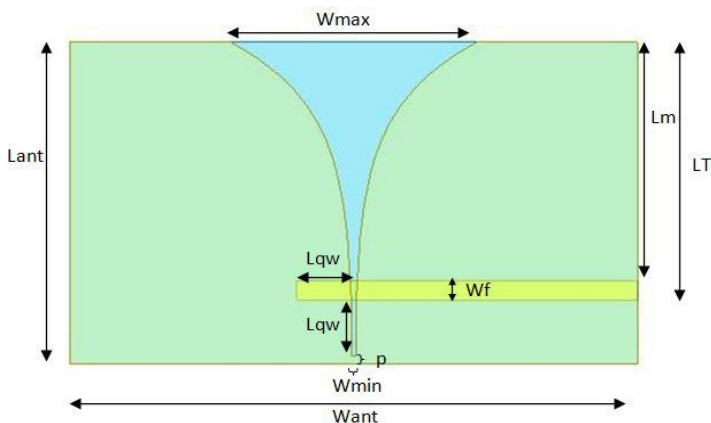


Рис. 1. Антенна Вивальди

Рассматриваются полуцилиндрические, треугольные (рис. 2) и прямоугольные гофры. В этих моделях сохраняются постоянными все параметры, касающиеся излучателя и линии питания. Общая длина антенны уменьшается за счет наклеивания того же излучателя на новые профили подложки. Таким образом, уменьшается как объем, так и общий размер антенн.

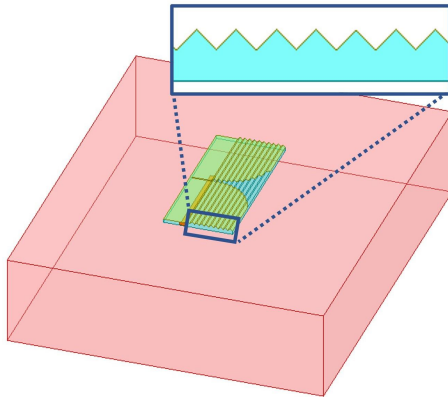


Рис. 2. Вариант применения треугольной гофры для миниатюризации антенны

В результате применения треугольной гофры удалось добиться уменьшения длины структуры на 24,1 %, а объема на 5,07 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Табаков, Д.П., Морозов, С.В., Соловьев, А.Н.* Исследование математической сеточной модели антенны Вивальди // Материалы XIV МНТК «Физика и технические приложения волновых процессов», 2016. – Самара. – С. 55-56

APPLICATION OF THE THREE-DIMENSIONAL MINIATURIZATION METHOD TO THE VIVALDI ANTENNA

Morozov S.V., Zhabin E.A., Barinov K.S.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

This work describes an antenna miniaturization method that is based on geometry compression. The method is demonstrated using an ultra-wideband Vivaldi antenna as an example.

УДК 621.396.674.37(1)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СВИПИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ КОНИЧЕСКОЙ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ

Симагов Н.А., Мерзляков Н.Р., Каминский Р.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В этой работе описывается метод параметрического свипирования, основанный на полном переборе параметров излучателя. В качестве примера был выбран излучатель в виде конической рупорной антенны (рис. 1).

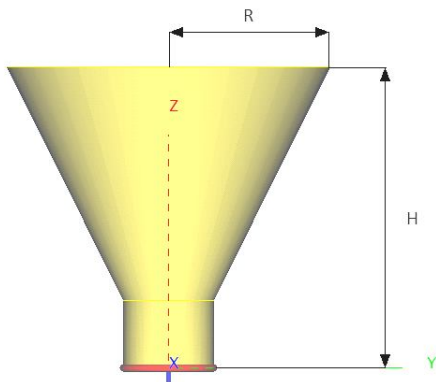


Рис. 1. Коническая рупорная антенна

Электродинамический анализ проводился в диапазоне частот от 3,6 до 4,4 ГГц. В этом диапазоне была взята 51 частотная точка для расчета. В качестве параметров для перебора были выбраны радиус апертуры R , а также его высота H . Цель расчета – распределение поля в дальней зоне рупорного излучателя.

Для указанных параметров было выбрано по три значения. Для высоты H : 0,13, 0,26 и 0,39, а для радиуса апертуры R : 0,89, 0,179, 0,269. Таким образом, общее число итераций при свипировании по-

лучилось равным $3 \times 3 \times 51 = 459$. Если не брать в расчет частоту, то на выходе получим 27 вариантов геометрии конической рупорной антенны.

В результате применения такого подхода можно получать большой объем данных для последующего анализа и получения наиболее оптимальной геометрии излучающей структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солдатов, А.А.* Влияние экрана на излучение рупорной антенны на основе подмагниченного гиромагнитного резонатора // III Научный форум телекоммуникации: теория и технологии ТТТ-2019. Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Казань, 2019. – С. 141-143.

APPLICATION OF THE PARAMETRIC SWIPING METHOD ON THE EXAMPLE OF A CONICAL HORN ANTENNA

Simagov N.A., Merzlyakov N.R., Kaminskiy R.V.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

This work describes the parametric sweep method, which is based on a complete enumeration of the necessary parameters of the emitter.

УДК 621.396, 621.372

РАСЧЕТ ПОГЛОЩАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ОКОНЕЧНОЙ НАГРУЗКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ НА БАЗЕ КОАКСИАЛЬНОГО ВОЛНОВОДА

Саласенко З.Ю.

*(Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева)*

При конструировании оконечных СВЧ-нагрузок большой мощности важную роль играет их согласование с волноведущим трактом. На рис. 1 представлена электродинамическая модель нагрузки, выполненная в виде отрезка коаксиального волновода, частично заполненного материалом с потерями (1 – возбуждающий полый коаксиальный волновод; 2 – согласующий отрезок полого коаксиального волновода; 3 – частично заполненный двухслойный коаксиальный волновод, с большими омическими потерями, для строгого расчета характеристик этой области необходимо знать полный спектр волн).

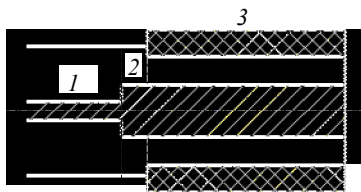


Рис. 1

В докладе при помощи строгого электродинамического метода частичных областей [1] произведен расчет коаксиального волновода в зависимости от величины потерь. Результаты представлены в виде зависимостей действительных (рис. 2) и мнимых (рис. 3) постоянных распространения собственных волн двухслойного коаксиального волновода с потерями на частоте 400 МГц от ϵ'' , где ϵ'' – мнимая часть комплексного значения диэлектрической проницаемости материала вставки.

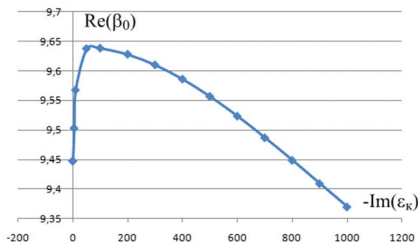


Рис. 2

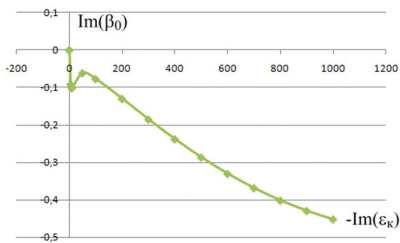


Рис. 3

Действительная часть постоянной распространения основной волны с ростом потерь сначала возрастает, а затем убывает. Мнимая часть также имеет экстремум, после которого незначительно убывает.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бударягин, Р.В., Радионов, А.А., Титаренко, А.А. Расчет плавных переходов в коаксиальной линии передач // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2001. – Т. 4. – № 2. – С. 53-57.

CALCULATION OF THE ABSORBING ELEMENT OF THE TERMINAL LOAD MADE ON THE BASIS OF A COAXIAL WAVEGUIDE

Salasenko Z.IU.

(Nizhny Novgorod State Technical University)

In the report, using the partial domain method, the calculation of a coaxial waveguide was performed depending on the magnitude of losses. In the course of the study, it was found that the real part of the propagation constant of the main wave first increases with increasing losses, and then decreases. The imaginary part also has an extremum, after which it decreases slightly.

СТЕНДЫ С АНТЕННАМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Авксентьев А.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

В статье приведены стенды с штатными изделиями и лабораторными макетами бортовых антенн.

На кафедре РТС КНИТУ-КАИ подготовлены 8 стендов с антеннами летательных аппаратов для специализированной аудитории. Большинство антенн, размещенных на планшетах, – серийные изделия. Кроме того, представлены антенны и лабораторные макеты, разработанные в лаборатории кафедры. Образцы подписаны штатными названиями или названиями, поясняющими устройство, некоторые из них разрезаны, чтобы показать внутреннее устройство. Фотографии части стендов приведены в тексте.





Названия стендов соответствуют типам антенн: спиральные, рупорные, невыступающие антенны, антенные блоки, шелевые антенны, вибраторные, штыревые, размещаемые на киле, облучатели и приемные антенны. На одном из стендов приведена фотография Н.Г. Воробьева, руководителя группы по разработке бортовых антенн на кафедре, которому принадлежит инициатива создания стендов и подбора образцов для использования их студентами при изучении дисциплины «Антенные системы бортовых радиоэлектронных комплексов».

AIRCRAFT ANTENNA STANDS

Avksentev A.A.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The article presents stands with standard products and laboratory mock-ups of on-board antennas.

**УПРАВЛЕНИЕ РЕЗОНАНСАМИ В СТРУКТУРЕ
«СВЧ ФОТОННЫЙ КРИСТАЛЛ-ПОЛЯРНАЯ
ЖИДКОСТЬ»**

Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Волишаник М.А.

*(Саратовский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского)*

В основе методов управления характеристиками СВЧ-устройств на основе ФК лежит высокая чувствительность резонансных состояний к объемным нарушениям периодичности брэгговской структуры и особенностям ее интерфейса.

В случае, когда фотонный кристалл граничит с проводящим слоем, изменение электропроводности и толщины проводящего слоя не приводит к изменению частоты таммовского резонанса, а только к изменению его амплитуды [1]. Для возникновения фотонных таммовских состояний в фотонном кристалле с интерфейсом в виде слоя полярной жидкости, мнимая часть комплексной диэлектрической проницаемости которой обладает значительной величиной, толщина слоя должна быть одного порядка с длиной волны электромагнитного излучения. Поэтому электрическое поле электромагнитной волны оказывается частично локализованным и в слое жидкости.

В связи с этим представляет интерес исследование характеристик управляемых фотонных таммовских резонансов в структуре одномерный СВЧ фотонный кристалл-слой полярной жидкости в зависимости от толщины слоя полярной жидкости.

Были рассчитаны АЧХ коэффициентов отражения S_{11} для фотонного кристалла типа фторопласт-нитрид бора при контакте со слоем дистиллированной воды (рис. 1). Для описания частотной зависимости комплексной диэлектрической проницаемости слоя воды была использована модель Дебая. При изменении толщины слоя жидкости в диапазоне от 0,2 до 2,0 мм наблюдается монотонное уменьшение частоты и немонотонное изменение амплитуды таммовского резонанса в первой запрещенной зоне ФК.

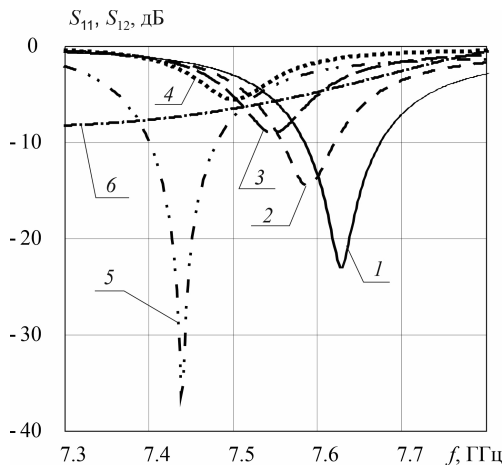


Рис. 1. Расчетные АЧХ S_{11} ФК, контактирующего со слоем дистиллированной воды толщиной d , мм: 1 – 0,2; 2 – 0,3; 3 – 0,5; 4 – 1,0; 5 – 2,0 и АЧХ S_{21} ФК при отсутствии слоя воды (кривая 6)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Skripal A.V., Ponomarev D.V., Komarov A.A., Sharonov V.E.* Tamm resonances control in one-dimensional microwave photonic crystal for measuring parameters of heavily doped semiconductor layers. *Izvestiya of Saratov University // Physics*, 2022. – Vol. 22. – № 2. – Pp. 123-130.

CONTROL OF RESONANCES IN THE STRUCTURE OF «MICROWAVE PHOTONIC CRYSTAL-POLAR LIQUID»

Skripal A.V., Ponomarev D.V., Volshanik M.A.

(Saratov State University)

The characteristics of controlled photonic Tamm resonances in one-dimensional microwave photonic crystal in contact with polar liquid layer have been studied at different thicknesses of the polar liquid layer.

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН С ПОМОЩЬЮ СВЧ ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА

Скрипаль А.В., Латышева Е.В.

(Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского)

Известны методы определения параметров образцов при помещении одномерного фотонного кристалла в отрезок прямоугольного волновода [1]. Часто они ограничены необходимостью использования образцов специальной формы. Для исследования возможности измерения параметров до изготовления таких образцов, полупроводниковые пластины круглой формы помещались вплотную с нарушением периодичности фотонного кристалла, первые пять слоев которого и нарушение располагались в одном волноводе, остальные слои – во втором (рис. 1).

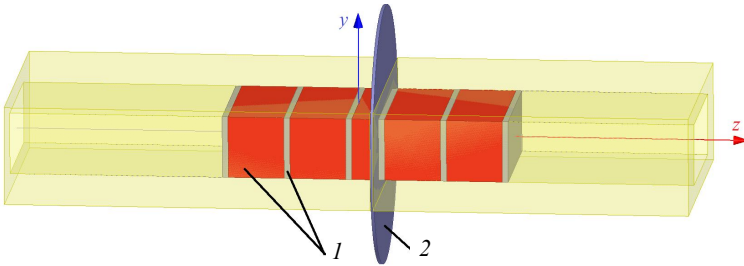


Рис. 1. Расположение исследуемой структуры в измерительной секции: 1 – слои волноводного фотонного кристалла; 2 – полупроводниковая пластина

Для расчета квадратов модулей коэффициентов отражения и прохождения электромагнитного излучения, взаимодействующего с исследуемой структурой, использовались система электродинамического моделирования HFSS и программная среда Mathcad. Сравнение результатов компьютерного моделирования показало хорошее количественное совпадение.

Искомые значения удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости полупроводниковых слоев определялись численным методом в результате решения обратной задачи в программной среде MathCad.

В табл. 1 приведены значения удельной электропроводности и диэлектрической проницаемости, полученные экспериментально предложенным методом для различных полупроводниковых пластин.

Таблица 1

Материал	t , мкм	ε , отн. ед.	σ , Ом ⁻¹ м ⁻¹
GaAs	350	12,2	0,15
Si	350	11,6	7,66
Si	478	11,6	0,69
Si	359	11,6	0,72

Полученные результаты демонстрируют возможность измерения параметров полупроводниковых пластин, выпускаемых промышленностью, при расположении образца между двумя волноводами, содержащими слои фотонного кристалла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Усанов, Д.А., Никитов, С.А., Скрипаль, А.В., Пономарев, Д.В., Латышева, Е.В.* Многопараметровые измерения эпитаксиальных полупроводниковых структур с использованием одномерных сверхвысоко-частотных фотонных кристаллов// Радиотехника и электроника. – 2016. – Т. 61. – № 1. – С. 45-53.

CONTROL PARAMETERS OF SEMICONDUCTOR WAFERS USING MICROWAVE PHOTONIC CRYSTAL

Skripal A.V., Latysheva E.V.

(Saratov State University)

The method for non-destructive testing of parameters of semiconductor wafers using a one-dimensional microwave photonic crystal with a periodicity defect has been justified and implemented.

УДК 621.372.2

БРЭГГОВСКИЕ СТРУКТУРЫ СВЧ-ДИАПАЗОНА С ПРОВОДЯЩИМ НАНОСЛОЕМ

Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Шаронов В.Е.

*(Саратовский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского)*

Возникновение резонансных эффектов в брэгговских структурах СВЧ-диапазона, часто называемых фотонными кристаллами, может быть обусловлено как объемными нарушениями периодичности брэгговской структуры, в этом случае исследуемый объект вносится внутрь структуры фотонного кристалла, так и особенностями ее интерфейса.

Исследовано влияние изменения структуры объемного нарушения периодичности СВЧ фотонного кристалла, обусловленное введением образца с проводящим нанослоем, на его амплитудно-частотные характеристики.

Параметры структуры фотонного кристалла, состоящего из периодически чередующихся слоев диэлектриков с разными значениями толщины и диэлектрической проницаемости, были выбраны из условия реализации запрещенной зоны в диапазоне частот от 7 до 13 ГГц, а параметры нарушения – из условия возникновения дефектной моды в середине запрещенной зоны.

Результаты расчетов амплитудно-частотных характеристик коэффициентов прохождения $S_{21}(f)$ ФК при различных положениях проводящего нанослоя внутри нарушения представлены на рис. 1.

Как следует из результатов расчета, при расположении образца с проводящим нанослоем вблизи границы нарушения на частоте дефектной моды наблюдается коэффициент прохождения S_{21} волны, близкий к единице. При расположении образца вдали на расстоянии L от границы нарушения S_{21} резко уменьшается до значений меньших –20 дБ.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают результаты компьютерного моделирования.

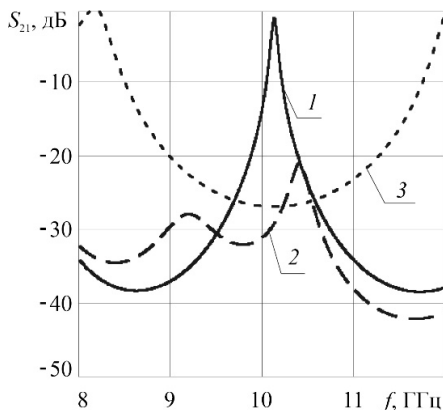


Рис. 1 Расчетные АЧХ коэффициентов прохождения $S_{21}(f)$ ФК при различных положениях проводящего нанослоя без внутри нарушения, L , мм: 1 – 1,4; 2 – 2,5 и АЧХ фотонного кристалла без нарушения периодичности (кривая 3)

Полученные результаты могут быть использованы при конструировании узкополосных перестраиваемых СВЧ-фильтров пропускания и СВЧ-аттенуаторов на основе фотонных кристаллов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усанов, Д.А. Одномерные СВЧ фотонные кристаллы. Новые области применения / Д.А. Усанов, С.А. Никитов, Ал.В. Скрипаль, Д.В. Пономарев. – Изд. 2-е доп. и перераб. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2020. – 236 с.

MICROWAVE BRAGG STRUCTURES WITH CONDUCTING NANOLAYER

Skripal A.V., Ponomarev D.V., Sharonov V.E.

(Saratov State University)

The effect of changes in the structure of the volume periodicity defect of microwave photonic crystal, caused by the introduction of a sample with a conducting nanolayer, on its amplitude-frequency characteristics has been studied.

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ УСТРОЙСТВ СВЧ

Комар К.О., Мирханова А.Н., Идиатуллов З.Р.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Современные технологии развиваются со взрывной скоростью, и искусственный интеллект (ИИ) стал одним из ключевых факторов в этом процессе. Он охватывает все сферы нашей жизни, включая науку и технику. В данной статье рассмотрим применение ИИ в проектировании и оптимизации устройств сверхвысоких частот (СВЧ).

СВЧ-устройства играют важную роль в таких сферах, как телекоммуникации, радиолокация, навигация и спутниковая связь. Они используются для передачи и приема радиосигналов, а также для генерации и обработки электромагнитных волн. Однако создание и оптимизация таких устройств требуют значительных усилий и времени из-за необходимости учета множества факторов, таких как технические характеристики, экологические требования и стоимость.

Машинное обучение, один из основных методов применения ИИ в этой области, может существенно облегчить эту задачу. От создания алгоритмов, способных обучаться на основе данных, до использования полученных знаний для принятия решений в процессе проектирования – все это может быть достигнуто с помощью машинного обучения.

Например, машинное обучение может быть использовано для поиска оптимальных параметров СВЧ-устройств, таких как размеры антенны, мощность передатчика и форма волновода. Это существенно сокращает не только время проведения экспериментов и расчетов, но и повышает точность и эффективность результатов.

Кроме того, ИИ может быть включен в процесс разработки новых материалов и технологий с улучшенными характеристиками

для использования в СВЧ-устройствах. Например, с помощью машинного обучения можно создавать новые типы антенн, которые будут более эффективными и компактными по сравнению с уже существующими.

Также, ИИ может помочь в анализе и обработке больших объемов данных, связанных с СВЧ-устройствами. Это включает в себя сбор, хранение и анализ данных об экспериментах, а также обработку результатов моделирования и испытаний. Анализ данных может помочь выявить закономерности и тенденции, которые помогут улучшить качество и эффективность разрабатываемых устройств.

Применение искусственного интеллекта в проектировании и оптимизации СВЧ-устройств открывает перспективы для создания новых технологий и материалов, а также улучшения существующих решений. Автоматизация многих процессов сокращает время разработки и позволяет сосредоточиться на более сложных задачах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Филонов, А.А.* Устройства СВЧ и антенны: учебник / А.А. Филонов, А.Н. Фомин, Д.Д. Дмитриев [и др.]; под ред. А.А. Филонова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 492 с.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE DESIGN AND OPTIMIZATION OF MICROWAVE DEVICES

Komar K.O., Mirkhanova A.N., Idiatullov Z.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

Artificial intelligence plays a significant role in modern science and technology. It is actively used in various fields, including the design and optimization of ultrahigh frequency devices. In this article, we will consider the use of artificial intelligence to optimize microwave devices, as well as its impact on the development of this area.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ
С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ
ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛА**

Бузова М.А.^{1,2}, Шляхов А.В.²

(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

*²Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Известно, что при включении новой передающей антенны в состав сложного антенного комплекса, размещенного на верхней площадке башни или мачты, полностью меняется картина электромагнитного поля в ближней и дальней зонах антенного комплекса, а также характеристики радиосвязи. Поэтому при включении (или исключении) каждой новой антенны необходимо заново анализировать объект с точки зрения обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) и электромагнитной безопасности. В силу ряда ограничений существующих подходов к обеспечению ЭМС РЭС может оказаться недостаточно для выполнения заранее заданных требований [1]. Поэтому в данной работе авторами рассматривается подход к обеспечению ЭМС РЭС, основанный на использовании электромагнитных экранов из метаматериала для дополнительного повышения уровня развязки между взаимодействующими антеннами [1].

Предлагаемый подход основан на известных методах оптимизации геометрического положения антенн на площадках мачт или башен [2]. Подход состоит из трех основных этапов. На первом этапе выполняется процесс поиска оптимального места размещения вновь вводимой антенны на верхней площадке башни или мачты. Далее, на втором этапе выполняется общий анализ ЭМС РЭС всего объекта. В случае обнаружения частот помех, на которых ЭМС РЭС

не обеспечивается, алгоритм переходит к следующему этапу. Наконец, на третьем этапе решается задача обеспечения ЭМС РЭС путем синтеза дополнительных электромагнитных экранов и определения мест их размещения. Такой подход позволяет улучшить развязку между антеннами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л., Бузова, М.А., Карлов, Ал.В., Носов, Н.А., Шляхов, А.В. Повышение развязки между антеннами, расположенными на верхних площадках башен, за счет использования экранов со сложной геометрией // Радиотехника. – 2020. – Т. 84. – № 6 (11). – С. 6-14.

2. Бузова, М.А., Красильников, А.Д., Носов, Н.А. Аналитическое проектирование антенных систем подвижной радиосвязи, содержащих большое количество антенн в ограниченной области пространства на верхних площадках опор // XII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж, 2006. – С. 433-439.

SECURITY THE ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT USING METAMATERIAL SCREENS

Buzova M.A.^{1,2}, Shlyahov A.V.²

(¹JSC «Samara Innovative Business Radio Systems»,

*² Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

In this paper the approach for providing the electromagnetic compatibility of radio electronic equipment located on the upper platforms of towers or masts, when adding new radio electronic equipment using electromagnetic metamaterial screens is developed and numerically implemented.

ВОПРОСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

Нарышкин И.М.^{1,2}

*(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,
²Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В настоящее время вопросам электродинамического моделирования антенн уделяется весьма большое внимание. И если еще в недавнем прошлом для расчета основных характеристик антенн было достаточно использования приближенных формул с заранее заданным распределением тока, то сейчас, как правило, требуется точный расчет наведенных на антенной системе токов и уже на их основе расчет всех требуемых антенных характеристик. Особенно вопросы электродинамического моделирования антенн важны при их размещении на уникальных объектах со сложной геометрией, специально не предназначенных для использования в качестве антенных башен [1].

К таким объектам можно отнести, прежде всего, высотные здания, имеющие господствующее положение в данной местности (например, главный корпус Московского государственного университета или Лахта-центр в г. Санкт-Петербурге). Основными проблемами при моделировании антенных систем, размещенных на таких объектах, по мнению автора, являются, во-первых, сложность геометрии (поперечного сечения на отметке установки антенны) здания, включая отсутствие круговой симметрии, а, во-вторых, очень большие электрические размеры объектов установки.

Учет первой из отмеченных особенностей приводит к требованию построения математической модели антенны с учетом места установки на основе строгих методов типа интегральных уравнений. В то же время, учет второй особенности весьма затрудняет применение строгих методов электродинамического анализа. И здесь воз-

никает определенное противоречие, которое должно разрешаться в каждом конкретном случае.

В докладе представлен ряд примеров уникальных объектов установки антенн, а также обосновано применение системы методов электродинамического моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аронов, С.Ю.* Специальная радиосвязь. Развитие и модернизация оборудования и объектов: монография / В.Ю. Аронов, С.Ю. Аронов, Р.Н. Асадуллин; под ред. А.Л. Бузова, С.А. Букашкина. – Москва: Радиотехника, 2017. – 448 с.

PROBLEMS OF MODELING ANTENNA SYSTEMS LOCATED ON UNIQUE OBJECTS

Naryshkin I.M.^{1,2}

*(¹ JSC «Samara Innovative Business Radio Systems»,
² Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

In this paper the problems of modeling antenna systems located on unique objects are discussed. Some examples of unique objects are given.

ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АДАПТАЦИИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЬЦЕВЫХ И СПИРАЛЬНО-КОЛЬЦЕВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Минкин М.А.^{1,2}, Обшитиков А.И.¹

*(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,
²Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Адаптивному антенно-фидерному устройству характерны режимы работы, при которых осуществляется управление основными параметрами АФУ в ручном или автоматическом режимах.

Параметры адаптивного АФУ, в частности, могут определяться пространственным распределением абонентов и их числом, занимающих в данный момент времени каналы связи.

Проектирование адаптивных АФУ является важной практической задачей, особенно для ответственных корпоративных систем подвижной связи, с ограниченным числом каналов, в которых не допускается блокирование абонента вследствие отсутствия доступных каналов связи.

Вопросам проектирования адаптивных АФУ устройств на базе кольцевых антенных решеток, реализующих схемно-пространственное сложение сигналов, посвящен ряд глав в работах [1, 2].

В данной работе рассмотрены вопросы реализации АФУ с комбинированной пространственной адаптацией на основе кольцевых и спирально-кольцевых антенных решеток, возбуждение которых осуществляется диаграммо-образующими схемами или комбинацией нескольких диаграммо-образующих схем. Структура АФУ полностью определяется характером решаемых задач: АФУ с группировкой входов по лучам, АФУ с перераспределением канальной емкости, АФУ с управлением шириной диаграмм направленности для систем с уплотнением каналов, АФУ комбинированного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л. Проектирование кольцевых антенных решеток, реализующих схемно-пространственное сложение сигналов в системах подвижной радиосвязи / А.Л. Бузов, В.В. Юдин. – Москва: «Радио и связь», 2005.

2. Юдин, В.В. Кольцевые антенные решетки: схемно-пространственная мультиплексия и направленное излучение / В.В. Юдин. – Москва: Радио и связь, 2001.

THE POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING COMBINED SPATIAL ADAPTATION BASED ON THE USE OF RING AND SPIRAL-RING ANTENNA ARRAYS

Minkin M.A.^{1,2}, Obshitkov A.I.¹

(¹ JSC «Samara Innovative Business Radio Systems»,

*² Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

The work is devoted to the possibilities of implementing combined spatial adaptation based on the use of ring and spiral-ring antenna arrays.

УДК 621.396.67

АНТЕННЫЙ КОМПЛЕКС С АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ АДАПТАЦИЕЙ ДЛЯ УКВ РАДИОСВЯЗИ

Бондарь П.И.^{1,2}, Бузов А.Л.¹, Карлов Ал.В.^{1,2}

(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

*²Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В настоящее время существует актуальная научно-техническая проблема развития средств подвижной УКВ радиосвязи, функционирующих в условиях сложной трассы распространения сигнала и обладающих улучшенными характеристиками по назначению. В работе [1] было показано, что использование различных видов поляризации в условиях городской застройки позволяет повысить качество и надежность радиосвязи.

Для реализации этих подходов предложен антенный комплекс с автоматизированной поляризационной адаптацией.

Данный антенный комплекс позволяет в автоматическом режиме выбирать лучший вариант парциальной составляющей принимаемого сигнала по критерию максимума соотношения сигнал/шум или по критерию минимума битовых ошибок.

Антенный комплекс состоит из собственно антенной системы (АС) (рис. 1) и блока поляризационной адаптации (БПА). Блок поляризационной адаптации позволяет выделять все возможные поляризационные составляющие как линейные, так и круговые.

АС представляет собой три скрещенных вибратора с треугольными плечами, запитанными с использованием шунтовой перемычки. На рис. 2 приведен график КСВН антенного элемента в составе антенного комплекса с учетом влияния подстилающей поверхности. Для сопряжения АС с 50-омным коаксиальным кабелем предлагается использование трансформатора сопротивления $1/4$ на основе ферритового кольца.

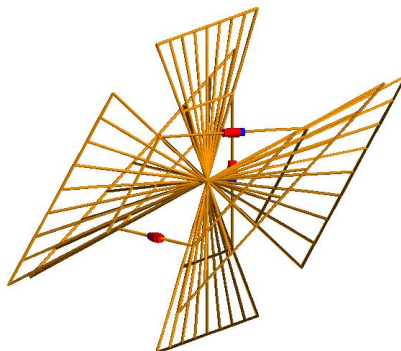


Рис. 1. Модель АС

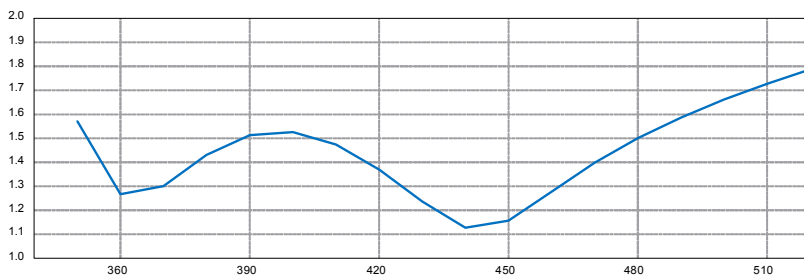


Рис. 2. Частотная зависимость КСВН антенного элемента

Из графика КСВН видно, что данная антенная система может быть использована для УКВ радиосвязи в широком диапазоне частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аронов, В.Ю., Бузов, А.Л., Бузова, М.А., Салдаев, С.В.* Возможности создания антенн горизонтальной и круговой поляризации для абонентских станций подвижной радиосвязи // Радиотехника. – 2018. – № 4. – С. 58 – 63.

**ANTENNA COMPLEX WITH AUTOMATED
POLARIZATION ADAPTATION
FOR VHF RADIO COMMUNICATION**

Bondar P.I.^{1,2}, Buzov A.L.¹, Karlov A.V.^{1,2}

*(¹JSC «Samara Innovative Business Radio Systems»,
² Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

An antenna complex with automated polarization adaptation
for vhf radio communication has been proposed

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ
КОНФОРМНЫХ СТРУКТУР
С КИРАЛЬНЫМ ЗАПОЛНЕНИЕМ**

Клюев Д.С.¹, Нещерет А.М.^{1,2}, Хажинов В.В.^{1,2}

*(¹ Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики,*

²АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)

Важным в задачах теоретической и прикладной электродинамики является определение энергии электромагнитного поля, накапливаемой и рассеиваемой на различных излучающих и переизлучающих структурах. В частности, это особенно важно при определении эффективности излучения различных антенн. В случае если потери на излучающих структурах невелики, то плотность электромагнитного поля может быть выражена с помощью эффективных макроскопических параметров материала [1, 2]. Однако в случае сложных, резонансных структур с различными диэлектрическими и металлическими включениями – метаматериалов, данное утверждение справедливо лишь на частотах, находящихся вдали от резонанса. При приближении к резонансной частоте необходимо учитывать тип киральных элементов и весь ансамбль, который они образуют. При этом, соответственно, важно учитывать и частотную дисперсию параметров метаматериала с использованием дисперсионных моделей, например, Кондона, Лоренца или Друде.

В работе рассматривается общий подход к определению плотности потока энергии на примере конформных излучающих структур с потерями, основанном на использовании теории электрических цепей [3, 4]. Разработана математическая модель конформной излучающей структуры с киральным заполнением, позволяющая осуществлять вычисление распределения плотности тока, входного сопротивления и других характеристик. Получены частотные зависимости

плотностей потока энергий электрического и магнитного поля для метаматериала на основе тонкопроволочных элементов.

Показано, что в целом имеет место сильное рассеивание энергии в метаматериале даже в случае использования серебряных киральных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л., Ключев, Д.С., Неганов, В.А., Нещерет, А.М. Перспективы использования метаматериалов в антеннах нового поколения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2017. – № 3. – С. 15-20.

2. Бузов, А.Л., Ключев, Д.С., Нещерет, А.М. Возможности совершенствования антенной техники путем использования киральных метаматериалов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2018. – № 3. – Т. 21. – С. 66-72.

3. *Tretyakov, S.A.* Electromagnetic field energy density in artificial microwave materials with strong dispersion and loss // *Phys. Lett. A343*, 231 (2005).

4. *Luan, P.-G.* Power loss and electromagnetic energy density in a dispersive metamaterial medium // *Phys. Rev. E80*, 046601 (2009).

EVALUATION OF THE RADIATION EFFICIENCY OF CONFORMAL STRUCTURES WITH CHIRAL FILLING

Klyuev D.S.¹, Neshcheret A.M.^{1,2}, Kozhinov V.V.^{1,2}

*(¹JSC «Samara Innovative Business Radio Systems»,
²Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

The work is devoted to the evaluation of the radiation efficiency of conformal structures with chiral filling.

ВНУТРЕННЯЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА КОНФОРМНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО РАМОЧНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

**Клюев Д.С.¹, Кривобоков Е.Э.², Половинкин А.И.¹,
Соколова Ю.В.¹, Сушко И.В.¹, Федоров Д.С.¹**

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций информатики,
АО «Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения»)*

Исследуемая структура представляет собой бесконечный по-
лый идеально проводящий цилиндр радиусом R . На поверхности ци-
линдра расположен слой диэлектрика толщиной d с диэлектрической
проницаемостью ε_1 и магнитной проницаемостью μ_1 . Цилиндр рас-
положен в бесконечной среде с диэлектрической проницаемостью ε_2
и магнитной проницаемостью μ_2 . На поверхности диэлектрика кон-
формно расположен рамочный излучатель, представляющий собой
бесконечно тонкую, идеально проводящую ленту шириной $2l$, сверну-
тую в кольцо радиуса a (рис. 1).

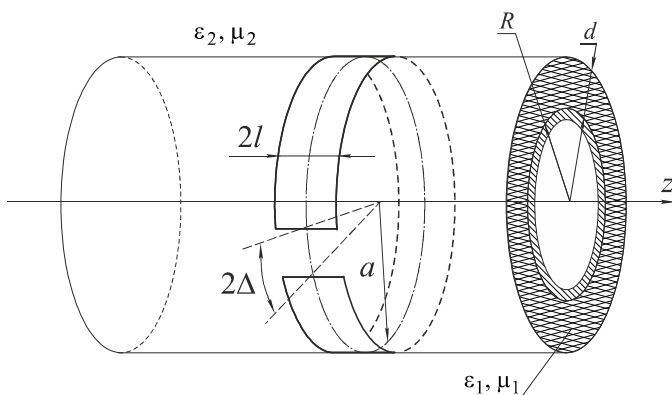


Рис. 1. Геометрия исследуемой структуры

Излучатель возбуждается сторонним полем в зазоре шириной $2b$.

С помощью метода поверхностных импедансов, описанного в работе [1] для излучающих структур на основе киральных метаматериалов [2], внутренняя задача анализа такой структуры сведена к интегральному уравнению. Предложена методика его решения, основанная на методе моментов. Получены численные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л., Ключев, Д.С., Курушкин, М.С., Нещерет, А.М., Усатенко, Т.О., Кабанов, В.А. Методы решения некорректных задач электродинамического анализа излучающих структур на основе киральных метаматериалов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2019. – Т. 22. – № 4-1. – С. 7-19.

2. Аралкин, М.В., Дементьев, А.Н., Осипов, О.В. Математические модели киральных метаматериалов на основе многозаходных проводящих элементов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2020. – Т. 23. – № 1. – С. 8-19.

INTERNAL ELECTRODYNAMIC PROBLEM OFA CONFORMAL CYLINDRICAL MICROSTRIP LOOP RADIATOR

*Klyuev D.S.¹, Krivobokov E.E.², Polovinkin A.I.¹,
Sokolova Yu.V.¹, Sushko I.V.¹, Fedorov D.S.¹*

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics,
JSC «Central Research Institute for Machine Building»)*

The internal problem of analyzing a conformal cylindrical microstrip loop radiator is reduced to an integral equation. A technique for solving it is proposed, based on the method of moments. Numerical results were obtained.

ВНУТРЕННЯЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА КОНФОРМНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО ВИБРАТОРНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

**Клюев Д.С.¹, Кривобоков Е.Э.², Половинкин А.И.¹,
Соколова Ю.В.¹, Сушко И.В.¹, Федоров Д.С.¹**

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций информатики,
АО «Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения»)*

Исследуемая структура представляет собой бесконечный полый идеально проводящий цилиндр радиусом R . На поверхности цилиндра расположен слой диэлектрика толщиной d с диэлектрической проницаемостью ε_1 и магнитной проницаемостью μ_1 . Цилиндр расположен в бесконечной среде с диэлектрической проницаемостью ε_2 и магнитной проницаемостью μ_2 . На поверхности диэлектрика конформно расположен вибраторный излучатель, представляющий собой бесконечно тонкую, идеально проводящую полоску длиной $2l$ (рис. 1).

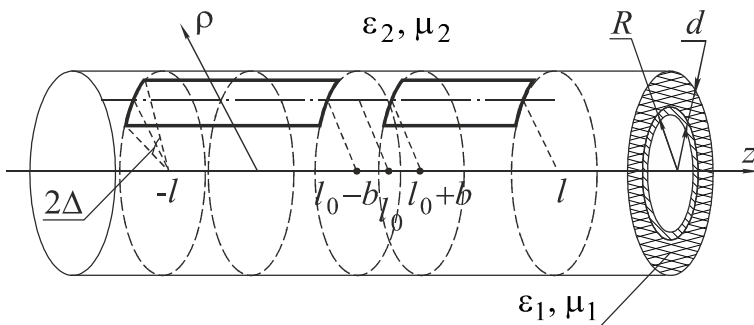


Рис. 1. Геометрия исследуемой структуры

Излучатель возбуждается сторонним полем в зазоре шириной $2b$.

С помощью метода поверхностных импедансов, описанного в работе [1] для излучающих структур на основе киральных метаматериалов [2], о внутренняя задача анализа такой структуры сведена к интегральному уравнению. Предложена методика его решения, основанная на методе моментов. Получены численные результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов, А.Л., Ключев, Д.С., Курушкин, М.С., Нещерет, А.М., Усатенко, Т.О., Кабанов, В.А. Методы решения некорректных задач электродинамического анализа излучающих структур на основе киральных метаматериалов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2019. – Т. 22. – № 4-1. – С. 7-19.

2. Аралкин, М.В., Дементьев, А.Н., Осипов, О.В. Математические модели киральных метаматериалов на основе многозаходных проводящих элементов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2020. – Т. 23. – № 1. – С. 8-19.

INTERNAL ELECTRODYNAMIC PROBLEM OF A CONFORMAL CYLINDRICAL MICROSTRIP DIPOLE

*Klyuev D.S.¹, Krivobokov E.E.², Polovinkin A.I.¹,
Sokolova Yu.V.¹, Sushko I.V.¹, Fedorov D.S.¹*

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics,
JSC «Central Research Institute for Machine Building»)*

The internal problem of analyzing a conformal cylindrical microstrip dipole is reduced to an integral equation. A technique for solving it is proposed, based on the method of moments. Numerical results were obtained.

МАТРИЦА ПОВЕРХНОСТНЫХ ИМПЕДАНСОВ ПОЛОСКОВОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО НА ЦИЛИНДРЕ ИЗ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА

*Клюев Д.С.¹, Нещерет А.М.^{1,2}, Половинкин А.И.¹,
Соколова Ю.В.¹, Сушко И.В.¹, Федоров Д.С.¹*

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций информатики,
АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»)*

Одним из перспективных направлений в создании антенн нового поколения связано с использованием в их конструкции искусственных метаматериалов [1], показавших свою эффективность.

Исследуемая структура представляет собой бесконечный цилиндр с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 и магнитной проницаемостью μ_1 , равномерно заполненный спиральными элементами (рис. 1).

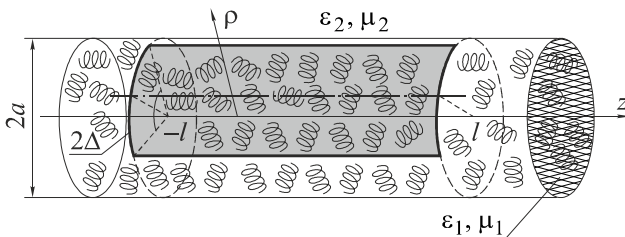


Рис. 1. Геометрия исследуемой структуры

Цилиндр расположен в среде с диэлектрической проницаемостью ϵ_2 и магнитной проницаемостью μ_2 . На его поверхности конформно расположен идеально проводящий прямоугольный излучатель длиной $2l$ и угловой шириной $2D$. Для такой структуры определены элементы матрицы поверхностных импедансов, связывающие фурье-образы тангенциальных составляющих напряженности электрического поля на поверхности цилиндра с фурье-образами состав-

ляющих плотности тока на поверхности излучателя. С помощью данной матрицы можно получить интегральные представления (ИП) электромагнитного поля, создаваемого излучателем, в любой точке пространства, включая его поверхность. При подстановке ИП в граничные условия для тангенциальных составляющих электрического поля на поверхности излучателя можно получить сингулярные интегральные уравнения относительно функции распределения плотности тока.

Таким образом полученная матрица поверхностных импедансов позволяет решать внутреннюю и внешнюю задачу для полосковых излучателей, расположенных на поверхности цилиндра и кирального метаматериала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аралкин, М.В., Дементьев, А.Н., Осипов, О.В.* Математические модели киральных метаматериалов на основе многозаходных проводящих элементов // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. – 2020. – Т. 23. – № 1. – С. 8-19.

2. *Аралкин, М.В., Дементьев, А.Н., Осипов, О.В.* Исследование электромагнитных характеристик планарных киральных метаструктур на основе составных спиральных компонентов с учетом гетерогенной модели Бруггемана // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. – 2020. – Т. 23. – № 3. – С. 44-55.

SURFACE IMPEDANCES MATRIX OF A STRIP RADIATOR LOCATED ON A CYLINDER MADE OF CHIRAL METAMATERIAL

***Klyuev D.S.¹, Neshcheret A.M.^{1,2}, Polovinkin A.I.¹,
Sokolova Yu.V.¹, Sushko I.V.¹, Fedorov D.S.¹***

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics,
JSC «Samara Innovative Business Radio Systems»)*

A method is proposed for calculating the elements of the surface impedance matrix of a cylinder made of a chiral metamaterial with a rectangular emitter located on its surface.

УДК 621.391.82

РАЗРАБОТКА УПРОЩЕННОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Мезенцева Е.А. Веденькин Д.А.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Разработка и моделирование реальных типов антенн, подстройка под эталонные значения зачастую занимает значительное количество времени. Поэтому на первых этапах проектирования возможна замена оборудования на упрощенные модели. Использование других типов антенн и изменение среды их размещения возможно с помощью методов ЭДМ в различных программных пакетах. При изменении типов антенн все процедуры моделирования и оптимизации проводятся повторно.

Таким образом, если на начальных этапах проектирования еще не выбраны точные характеристики радиоэлектронного оборудования, допустимо использовать в качестве моделей реальных антенн упрощенные модели со схожими диаграммами направленности и одинаковыми характеристиками согласования на одном объекте. Все характеристики антенны-прототипа рассчитываются на основе нормативной документации. В качестве примера рассмотрим антенну и ее прототип, представленные на рис. 1.

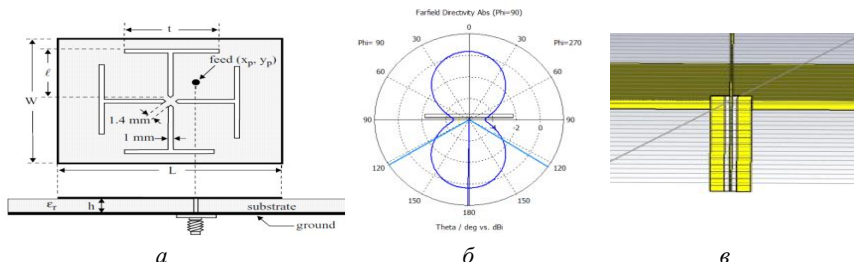


Рис. 1. Микрополосковая антенна с четырьмя Т-образными прорезями (а), диаграмма направленности антенны (б) и антенна-прототип (в)

На основе данных из рис. 1 диаграмма направленности антенны реального типа соответствует диаграмме направленности антенны-прототипа. Моделирование и настройка микрополосковой антенны потребует значительного времени, а моделирование штыревой антенны можно выполнить быстрее.

В докладе представлены результаты моделирования антенн и последующее сравнение их коэффициентов связи на одном объекте в задачах оценки ЭМС на начальных этапах проектирования. Подходы, использованные авторами, приведены в статье [1], а полученные результаты могут быть использованы в задачах, описанных в статье [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Седельников, Ю.Е., Веденькин, Д.А., Латышев, В.Е., Никишина, Д.В., Гущина, Д.С.* Антенные системы радиосредств перспективных БЛА: проблемы и направления решения // Известия высших учебных заведений. – 2015. – № 2. – С. 81-86.

2. *Седельников, Ю.Е.* Комплекс учебно-методических материалов для изучения дисциплины «ЭМС РЭС» в вузах радиотехнического профиля // Электродинамика, фотоника и киберфизические системы. – 2022. – Т. 2. – № 4. – С. 64-70.

DEVELOPMENT OF A SIMPLIFIED MODEL OF A REAL ANTENNA AT THE INITIAL STAGES OF DESIGN

Mezentseva E.A. Vedenkin D.A.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

To fasten the process of antenna design, it is possible to use simplified models with similar radiation patterns and the same matching characteristics. The report presents the results of antenna modeling and the subsequent comparison of their coupling coefficients on one object in the tasks of EMC assessment at the initial stages of design.

УДК 621.396.677

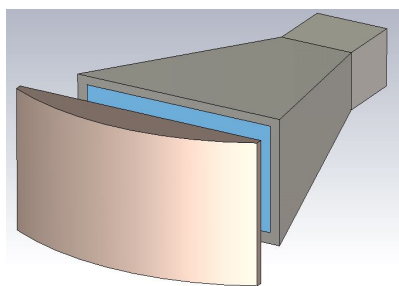
ОЦЕНКА ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ И ВАРИАНТ ЕЕ СУЖЕНИЯ

Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А., Шайхутдинов Р.Р.

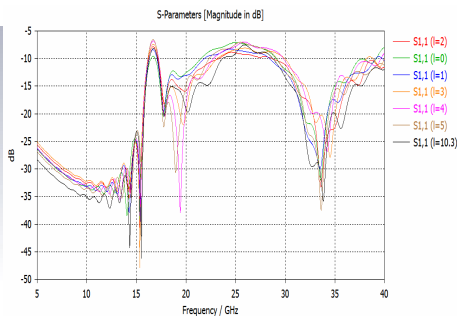
*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Рупорные антенны играют важную роль в передаче и приеме радиосигналов. Они технологичны, относительно просты в изготовлении. Однако ширина диаграммы направленности, обычно составляющая порядка ± 60 градусов, в некоторых случаях является довольно значительной и требует разумного сужения.

На рис. 1 показана электродинамическая модель рупорной антенны с защитным кожухом и характеристика согласования.



a



б

Рис. 1. Геометрия рупорной антенны с защитным кожухом (*a*) и графики модуля коэффициента отражения при различных расстояниях защитного кожуха от раскрыва рупорной антенны (*б*)

Сужение диаграммы направленности в рупорных антеннах может быть достигнуто с помощью нескольких методов:

1) оптимизация формы рупора;

2) использование апертуры с большим отношением длины к ширине: увеличение отношения длины к ширине апертуры рупора может сузить диаграмму направленности.

Для сужения диаграммы направленности воспользуемся диэлектрической вставкой, установленной в рупор и улучшающей согласование рупора со свободным пространством (рис. 2).

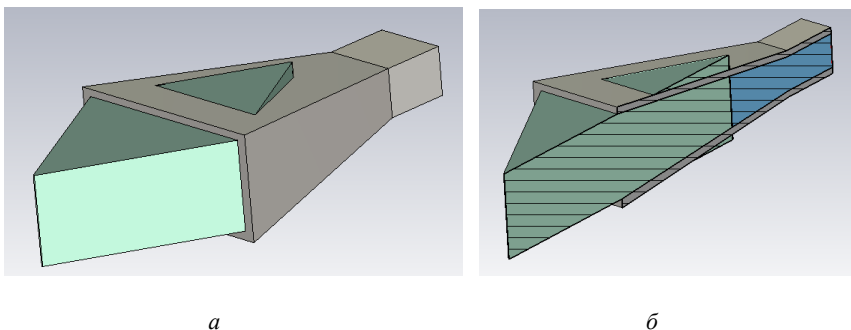


Рис. 2. Внешний вид диэлектрической вставки (а) и сечение рупорной антенны с диэлектрической вставкой (б)

Использование подобного рода подходов может быть актуально при решении задач [1-3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведынкин, Д.А. Мультисфокусированные антенные решетки с формирующими излучениями, полученными по методу Ильина-Морозова // *Электроника, фотоника и киберфизические системы*. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 23-27.

2. Ведынкин, Д.А., Седельников, Ю.Е. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. – 2015. – Т. 18. – № 3. – С. 23-30.

3. Ведынкин, Д.А., Седельников, Ю.Е., Насыбуллин, А.Р. Фокусировка электромагнитного излучения в диссипативной среде //

Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – № 3(35). – С 61-68.

**ASSESSMENT OF DIRECTIVE DIAGRAM
OF A HORN ANTENNA AND OPTION FOR ITS
NARROWING**

Sedelnikov Y.E., Vedenkin D.A., Shaykhutdinov R.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The issues of analyzing the characteristics of a horn antenna with various dielectric matching inserts are considered.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ ЧАСТОТ ЛИНЕЙНЫХ ФРАКТАЛЬНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Усков Г.К., Нескородов С.Е., Кондратьев Д.П., Болгов А.Ю.

*(Воронежский государственный университет,
АО «Концерн «Созвездие»)*

Развитие систем связи невозможно без развития антенной техники. В частности, в УКВ-диапазоне, где длина антенны может достигать нескольких метров, геометрия излучателей имеет важное значение. Поэтому уменьшение их размера является актуальной задачей. Один из вариантов миниатюризации – это использование фрактальных структур [1].

В данной работе представлены результаты моделирования симметричных излучателей, общий вид которых показан на рис. 1, основанных на различных кривых [2]. Полученные результаты сравнивались с характеристиками симметричного вибратора той же длины.

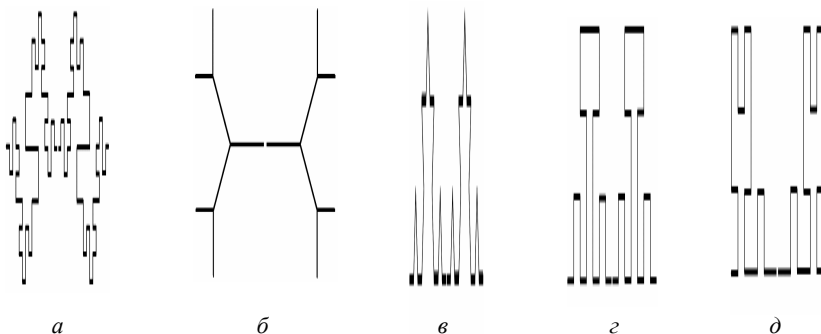


Рис. 1. Общий вид исследуемых излучателей на основе кривых второй итерации

Оценивались следующие параметры – резонансная частота и относительная полоса пропускания, равная отношению полосы пропускания по уровню $S_{11} = -10$ дБ к центральной частоте. Лучший результат показал излучатель на основе кривой Минковского (рис. 1, *a*),

у которого снижение резонансной частоты составило 37 % и 53 % для 1-й итерации и 2-й соответственно. При этом относительная полоса снизилась более чем в два раза. Излучатель на основе кривой типа «дерево» (рис. 1, б), увеличил относительную полосу пропускания на 13 %, снизив при этом резонансную частоту на 31 %. Оставшиеся излучатели на основе кривых Мура (рис. 1, в), Коха (рис. 1, г) и Гильберта (рис. 1, д) уступают описанным, однако для всех описанных структур сохраняется закономерность: чем сильнее уменьшается резонансная частота, тем сильнее уменьшается полоса пропускания, следовательно, все они могут быть применены по конструктивным или иным соображениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tsachtsiris, G., Karaboikis, M., Soras, C. and Makios, V.* A Novel Fractal Rectangular Curve Printed Monopole Antenna for Portable Terminals. // URSI International Symposium on Electromagnetic Theory. – Pisa, Italy, May 23-27. – 2004.
2. *Слюсар, В.И.* Фрактальные антенны, принципиально новый тип «ломанных» антенн. – Ч. 2. – Москва, Связь. – 2007. – 8 с.

COMPARATIVE ANALYSIS OF RESONANT FREQUENCIES OF LINEAR FRACTAL EMITTERS

Uskov G.K., Nescorodov S.E., Kondratyev D.P., Bolgov A.Y.

(Voronezh State University, JSC Concern Sozvezdie)

The paper deals with symmetric radiators based on different types of 1st and 2nd order fractal curves. The characteristics obtained by modeling, namely the natural resonance frequency and the relative width of the spectrum, are shown. The data obtained can be used to reduce the linear dimensions of the emitters, and in some cases to increase the bandwidth.

УДК 621.385.69

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ЛТСС - ПЛАТ С ТОРЦЕВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Мяжкова Ю.С.

*(Филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»
«Научно-исследовательский институт измерительных
систем им. Ю.Е. Седакова»)*

Технология изготовления многослойных керамических плат (МКП) методом низкотемпературного совместного обжига (Low Temperature Co-fire Ceramic – LTCC) широко применяется в области создания электронной техники [1]. Благодаря достоинствам LTCC технология успешно применяется для изготовления ВЧ- и СВЧ-корпусов микросхем и электронных приборов. Широкий диапазон рабочих частот МКП позволяет размещать на одной плате планарную антенну, СВЧ приемо-передающий модуль и НЧ-схемы аналоговой и цифровой обработки сигнала [2].

Одной из отличительных особенностей изделий, изготовленных по LTCC-технологии, является то, что МКП может быть одновременно и платой, и корпусом. Подавляющее большинство выпускаемых корпусов имеют торцевую металлизацию.

Проведенные ранее исследования по получению торцевой металлизации путем заполнения отверстий проводниковой пастой в каждом керамическом слое с последующим ламинированием заготовки не обеспечили получение отверстий необходимого качества из-за рассовмещения слоев.

В данной работе проведены исследования других способов формирования торцевой металлизации, а именно, получение торцевой металлизации в «сыром» керамическом пакете. Торцевая металлизация формируется методом сверления в ламинированной заготовке с последующим заполнением проводниковой пастой.

Исследования проводились на отверстиях следующих типоразмеров: диаметр 0,3 мм с шагом 0,7 мм, 0,5 мм с шагом 1,3 мм, 1 мм с шагом 2 мм. Для заполнения отверстий применялась паста ПП-141 с вязкостью 17, 21, 28 мм, которая наносилась через трафарет.

В процессе проведения исследований разработана технология изготовления торцевых металлизированных отверстий, которая позволяет расширить функциональные возможности изделий на основе ЛТСС-плат и создавать миниатюрные модули и системы в СВЧ-устройствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила проектирования многослойных ЛТСС/НТСС компонентов (модулей) // ООО «АК Микротех» (ред. 08.2019).
2. *Симин А., Холодняк Д., Вендик И.* Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига // Компоненты и технологии. – 2005. – № 5. – С. 190-196.

RESEARCH TECHNOLOGIES FOR MANUFACTURING MULTILAYER CERAMIC BOARDS WITH FACE METALLIZATION

Myagkova Yu.S.

*(Branch of FGUP «RFNC-VNIIEF»
«Yu.E. Sedakov Scientific Institute of Measuring Systems»)*

The paper presents the results of obtaining the end metallization of a laminated billet with subsequent filling with a conductor paste.

УДК 621.3.029.6

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В ПОДЛОЖКАХ ИЗ КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА В20 ДЛЯ СВЧ-МИКРОПЛАТ

Гудина Т.Л., Светлаков Ю.А.

(ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ)

Цель работы – исследование возможности изготовления и разработка технологии размерной лазерной обработки (ЛО) отверстий и пазов, в том числе сложной формы, в подложках из керамического материала В20 ТУ 6365-001-39474623-2000 в соответствии с требованиями, предъявляемыми нормативной документацией к изготовлению СВЧ-микроплат и микросборок.

Подложки из керамики В20 характеризуются высокими диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 20 \pm 1$) и добротностью ($Q = 5000$ на частоте 9,0 ГГц), малым температурным коэффициентом диэлектрической проницаемости, что позволяет снизить при их использовании массогабаритные характеристики изделий и предопределяет их применение в конструкциях компонентов СВЧ-устройств.

Отработка режимов и обработка отверстий выполнялась на лазерной установке МЛП1-015-ЛД, имеющейся в составе технологической базы [1] на момент разработки технологии.

Предложена последовательность выполнения технологических операций для получения отверстий и пазов в подложках толщиной 0,5 и 1 мм, включающая: нанесение поглощающей лазерное излучение суспензии на поверхность подложки; размерная ЛО отверстий; обжиг подложек.

В результате проведенных работ был разработан технологический процесс получения отверстий и пазов в подложках, который обеспечивает вырезку элементов микроплат с точностью по 11-12 квалитетам. Минимальные размеры вырезаемого контура – 0,2 мм.

Результаты работы позволили расширить возможности технологической базы [2] при технологическом обеспечении проектирова-

ния и изготовления СВЧ-устройств [3], в частности размерной обработки микроплат и микросборок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Светлаков, Ю.А.* Формирование технологической базы при технологическом обеспечении проектирования и изготовления СВЧ-устройств // Проектирование и технология электронных средств. – 2018. – № 4. – С. 30-36.

2. *Светлаков, Ю.А.* Совершенствование и развитие технологической базы проектирования и изготовления СВЧ устройств // Материалы XXIII Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии», ИСТ-2017. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. – С. 1344-1349.

3. *Козлов, В.А., Светлаков, Ю.А., Седаков, А.Ю.* Развитие структуры технологического обеспечения при системном проектировании и изготовлении СВЧ-компонентов бортовых радиоэлектронных систем // Проектирование и технология электронных средств. – 2018. – № 3. – С. 23-29.

TECHNOLOGY OF LASER PROCESSING OF HOLES IN SUBSTRATES FROM CERAMIC MATERIAL B20 AT PRODUCTION OF THE MICROWAVE MICROPLATES

Gudina T.L., Svetlakov Yu.A.

*(FSUE RFNC Russian Scientific Research Institute
of Experimental Physics)*

The technology of laser dimensional processing of holes in substrates from the ceramics material B20 is developed. Accuracy of processing and quality of the processed surfaces correspond to requirements of the documentation to microplates UHF range.

УДК 53.087.92

МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЧ-ДАТЧИКА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ТАБАЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Самохин Р.А., Ишкаев Т.М., Насыбуллин А.Р.,
Вальяров М.Э.*

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Создание преобразовательного элемента СВЧ диапазона для оценки влажности табачной продукции довольно актуальная задача в настоящее время. Это обуславливается всеобщим переходом к высокочастотным системам контроля и диагностики материалов и веществ. Кроме этого, в лабораториях при предприятиях необходимы системы оперативного контроля продукции. В связи с этим в данной работе предлагается преобразовательный элемент СВЧ-диапазона для оперативного контроля влагосодержания в готовой табачной продукции.

За основу для преобразовательного элемента была взята работа [1]. Конструкция преобразователя представляет собой цилиндрический SIW резонатор, с круглым отверстием в центре. Отверстие имеет диаметр, который соответствует диаметру готовой сигареты. Возбуждение SIW резонатора выполняется с помощью микрополосковой линии (рис. 1).

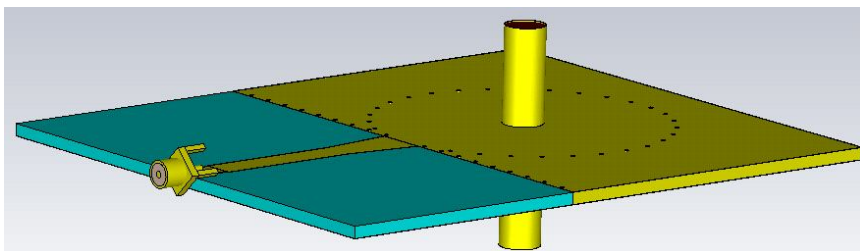


Рис. 1. Электродинамическая модель преобразовательного элемента

Для обеспечения высокого согласования SIW резонатора и питающей микрополосковой линии в месте перехода была внедрена щель, при изменении параметров которой выполнялась оптимизация перехода. Критерием согласованности была максимальная добротность резонанса коэффициента отражения S11. Для большей концентрации электрического поля в рабочей зоне SIW-резонатора было принято решение добавить цилиндрический экран. Подобная модификация позволила сфокусировать электрическое поле в центре отверстия, что в свою очередь повысило чувствительность преобразователя и его согласование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фаттахов, Р.Р., Ишкаев, Т.М., Коркина, А.Р., Насыбуллин, А.Р.* СВЧ-датчик на основе SIW резонатора для измерения диэлектрических параметров жидкостей // Сборник статей IX Всероссийской научной школы-семинара «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцевого и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами», Саратов, Россия, 24 мая, 2022. – С. 127-131.

SIMULATION OF A MICROWAVE SENSOR FOR OPERATIVE CONTROL OF HUMIDITY OF TOBACCO PRODUCTS

Samokhin R.A., Ishkaev T.M., Nasybullin A.R., Valiarov M.E.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This paper describes the modeling of a resonant microwave sensor for the operational control of the moisture content of tobacco products. The prerequisites for the development of this topic are given, the methods used to develop the desired transforming element are described.

УДК 537.226:621.372

ОБЪЕМНЫЕ ПОЛОСКОВЫЕ СВЧ-СТРУКТУРЫ В КАЧЕСТВЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

*Ишкаев Т.М., Калимуллин И.А. Фархутдинов Р.В.,
Вальяров М.Э.*

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

При измерениях твердых диэлектрических материалов, планарными полосковыми СВЧ преобразователями, возникает множество ошибок, связанных с неидеальной поверхностью тестируемого материала. Описанные особенности обосновываются тем, что на границе преобразовательный элемент/тестируемый материал возникают воздушные зазоры, которые в свою очередь вызывают паразитные переотражения, негативно влияющие на точность определения физико-химических параметров тестируемого материала.

На рис. 1 приведена концепция объемной полосковой СВЧ-структуры меандровой формы (ОПССМФ), позволяющей минимизировать неидеальность поверхности тестируемого материала за счет сочетания множества точек касания преобразовательный элемент/тестируемый материал и гибкой подложки [1].

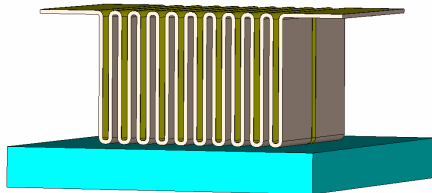


Рис. 1. Электродинамическая модель ОПССМФ
в задачах контроля твердых материалов

Для оценки чувствительности частотных характеристик предложенной структуры варьировалась диэлектрическая проницаемость измеряемого материала при неизменном $\text{tg}\delta$. Зависимость изменения сдвига фазы от вариации диэлектрической проницаемости была получена для частот, соответствующих первому и второму брэгговскому и промежуточному резонансам.

В ходе компьютерного эксперимента были сделаны следующие заключения. При увеличении частоты контроля у функции преобразования повышается линейность. При принятии за абсолютную погрешность измерения фазы коэффициента передачи $\Delta 1 = 1^\circ$, что характерно для большинства векторных анализаторов цепей, получим абсолютное значение погрешности $\Delta = 0,07$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Насыбуллин, А.Р., Фархутдинов, Р.В.* и др. Математическое моделирование периодических СВЧ-структур брэгговского типа, выполненных в коаксиальных линиях // *Электроника, фотоника и киберфизические системы*. – 2023. – Т. 3. – № 2. – С. 7-22.

ОБЪЕМНЫЕ СВЧ ПОЗЛОСОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ КАК ПРЕОБРАЗУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТВЕРДЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

*Ishkaev T.M., Kalimullin I.A., Farkhutdinov R.V.,
Valiarov M.E.*

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This work shows to us the transformative properties of volumetric strip microwave structures of meander shape in problems of monitoring solid materials without preliminary preparation. The electrodynamic model of the sensor is presented, aspects of the experiment are described, and the absolute conversion error is given.

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ

***Артемьев В.И., Силантьева А.А., Смирнов С.В.,
Смирнов Н.Д., Пушков Р.А.***

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Диабет – одно из самых распространенных хронических заболеваний. По данным Всемирной организации здравоохранения, в настоящее время в мире насчитывается около 450 миллионов случаев диабета, и потенциально это число может достичь 700 миллионов к 2045 году [1]. Кроме того, все большее число пациентов страдают от боли и инфекций, вызванных инвазивным характером обычных коммерческих глюкометров. Поэтому в настоящее время ведутся активные исследования в области разработки неинвазивных устройств контроля уровня глюкозы в крови, среди которых наибольшее распространение получили оптические, трансдермальные, инфракрасные и микроволновые технологии.

Нами был проведен подробный анализ каждого из указанных методов, благодаря которому были определены их ключевые недостатки. К недостаткам оптических методов можно отнести поглощение излучения другими материалами, низкое отношение сигнал/шум, нестабильность характеристик при воздействии теплового шума, высокая чувствительность к воздействию окружающей среды и высокая стоимость. Главным недостатком трансдермальной системы является ввод электрического тока через кожу, что может представлять опасность для пациента, а недостатком термоэмиссионной инфракрасной термографии является высокая стоимость и неточность измерений.

Наиболее перспективным методом неинвазивного контроля уровня глюкозы в крови являются приборы на основе микроволновых технологий, которые в своей структуре используют планарные резо-

нансные устройства, обладающие такими преимуществами, как простота и низкая стоимость производства, компактность, возможность неинвазивных измерений [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Tang Liu, Chang Shwu Jen, Chen Ching-Jung, Liu Jen-Tsai.* Non-Invasive Blood Glucose Monitoring Technology: A Review // *Sensors* (Basel). – 2020. – № 23. – С. 6925-6929.

2. *Силантьева, А.А., Морозов, О.Г., Смирнов, С.В., Артемьев, В.И., Марданов, Г.Д.* Контроль уровня глюкозы в крови человека, страдающего сахарным диабетом, с помощью СВЧ-метода // *Электроника, фотоника и киберфизические системы.* – 2022. – № 4. – С. 7-18.

NON-INVASIVE METHODS OF BLOOD GLUCOSE CONTROL

***Artemyev V.I., Silanteva A.A., Smirnov S.V., Smirnov N.D.,
Pushkov R.A.***

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

In this paper, the authors consider options for monitoring blood glucose levels by noninvasive methods, such as optical, transdermal, infrared and microwave technologies.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОГО РЕЗОНАТОРНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

*Артемов В.И., Силантьева А.А., Смирнов Н.Д.,
Смирнов С.В., Пушков Р.А.*

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Выбор данного типа датчика обусловлен отсутствием прямого контакта подводящей линии с исследуемым объектом. Расчет проводился методом возмущения, принцип работы которого заключается в размещении фаланги пальца в резонансную полость, где в зависимости от уровня глюкозы в крови будет меняться ее диэлектрическая проницаемость, что соответственно приведет к сдвигу резонансной частоты, а полоса контура и амплитуда будут изменяться в зависимости от потерь. Основными параметрами кольцевого резонатора являются средний радиус, резонансная частота, внешний и внутренний радиусы и добротность [1].

Средний радиус определяется выражением [1-2]:

$$r = \frac{nc}{2\pi f \sqrt{\epsilon_r}} \quad \text{для } n = 1, 2, 3, \dots, \quad (1)$$

где n – порядковый номер резонанса, c – скорость электромагнитных волн в вакууме; f – резонансная частота; ϵ_r – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика полосковой линии.

Резонансная частота определяется выражением [1-2]:

$$f = \frac{nc}{2\pi r \sqrt{\operatorname{Re}(\epsilon_{\text{eff}}(\epsilon_{\text{test}}))}} \quad \text{для } n = 1, 2, 3, \dots, \quad (2)$$

где $\epsilon_{\text{eff}}(\epsilon_{\text{test}})$ – эффективная комплексная диэлектрическая проницаемость, зависящая от комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ_{test}) объекта исследования, $\operatorname{Re}(\dots)$ – выделение вещественной части.

Внешний и внутренний радиусы определяются как [1-2]:

$$R_0 = r + \frac{w}{2}; \quad (3)$$

$$R_i = r - \frac{w}{2}, \quad (4)$$

где w – ширина центрального проводника симметричной полосковой линии.

Добротность резонатора находится как [1-2]:

$$Q = \frac{f}{BW}, \quad (5)$$

где BW – полоса пропускания резонансной частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Силантьева, А.А., Морозов, О.Г., Смирнов, С.В. и др.* Контроль уровня глюкозы в крови человека, страдающего сахарным диабетом, с помощью СВЧ-метода // *Электроника, фотоника и киберфизические системы.* – 2022. – № 4. – С. 7-18.

2. *Анфиногентов, В.И.* Математическое моделирование СВЧ-нагрева диэлектриков: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Казань. – 2006.

MATHEMATICAL CALCULATION OF A RING RESONATOR SENSOR FOR CONTROL OF GLUCOSE LEVELS IN HUMAN BLOOD

*Artemyev V.I., Silanteva A.A., Smirnov N.D.,
Smirnov S.V., Pushkov R.A.*

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This article discusses the mathematical calculation of the parameters of a ring resonator based on the perturbation principle for measuring dielectric properties. The principle of operation of the method is to place the test material in a resonant cavity, where its dielectric constant will change depending on the level of glucose in the blood.

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР СКИ С НИЗКИМ УРОВНЕМ ЗВОНА

Елфимов А.Е., Величкина А.С., Усков Г.К., Бобрешов А.М.

(Воронежский государственный университет)

В работе предлагается схема генератора сверхкоротких импульсов (СКИ) на основе диодов с накоплением заряда (ДНЗ) с возможностью управления формой результирующих импульсов, низким уровнем звона и малым искажением заднего фронта.

Предложенная в работе схема отличается от аналогичных разработок [1] использованием двух управляющих элементов – LDMOS-транзисторов Ampleon BLF574. Широкая полоса рабочих частот (500 МГц), позволяет применить запускающие импульсы с длительностью от 6 нс, а малое сопротивление канала относительно транзисторов MOSFET увеличить ток, протекающий через ДНЗ. Два транзистора в схеме реализуют контроль времен накопления и рассасывания заряда в диоде за счет независимого управления двумя запускающими сигналами. Регулировка процесса переключения диода и контроль значения, накопленного в диоде заряда, реализовано за счет изменения задержек и длительностей запускающих импульсов. Подбор времени переключения, которое соответствует параметрам конкретных ДНЗ, позволяет улучшить форму результирующего импульса и уменьшить его длительность.

Принципиальная электрическая схема разработанного генератора приведена на рис. 1, а. Полученный в результате эксперимента СКИ приведен на рис. 1, б, измерения проводились на нагрузке 50 Ом. Длительность импульса составляет 200 пс, амплитуда 38 В, уровень звона 4,2 %, отклонение по форме от идеального гауссова импульса, вычисленного по методу NMSE [2] минус 10,87 дБ.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда грант 21-19-00323, <https://rscf.ru/en/project/21-19-00323/>

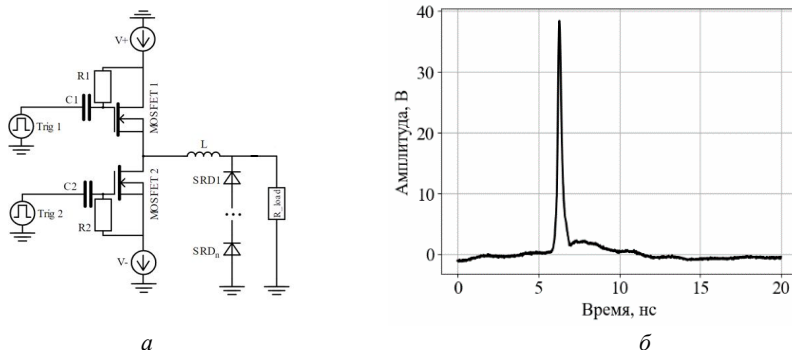


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема генератора СКИ (а) и импульс на выходе прототипа (б)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bobreshov, A.M., Zhabin, A.S., Ryazantsev, A.D., Stepkin, V.A. and Uskov, G.K.* Improvement of Ultrashort Pulses by Serial Connection of Step Recovery Diodes // IEEE Microwave and Wireless Components Letters. – Vol. 31. – № 2. – Pp. 204-206, Feb. 2021, doi: 10.1109/LMWC.2020.3046925.

2. *Елфимов, А.Е., Величкина, А.С., Усков, Г.К.* Оценка квази-гауссовых импульсов с помощью метода NMSE// Сборник трудов X Международной заочной научно-практической конференции «Информационные технологии. радиоэлектроника. телекоммуникации (ITRIT-2023)». – 2023.

RECONFIGURABLE UWB PULSE GENERATOR WITH LOW RINGING LEVEL

Elfimov A.E., Uskov G.K., Velichkina A.S.

(Voronezh State University)

The paper proposes a new circuit for an ultrashort pulse generator based on step recovery diodes with the ability to control the shape of the resulting pulses, a low ringing level and minimal trailing edge distortion. Improving the pulse shape in the time domain is of interest for organizing the correlation reception of UWB-pulses.

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ГИРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

Солдатов А.А.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В работах [1 – 2] отмечено, что на основе подмагниченного гиромагнитного резонатора возможно создание антенн, которые обладают большим количеством свойств: создание вращающегося поля с эллиптической (а в осевом направлении с круговой) поляризацией; электрическая коммутация направления вращения поля; высокая частотная избирательность и пр. При этом определяется амплитудная характеристика такой антенны:

$$|\vec{F}(\theta, \varphi)| = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{E}|_{\theta=0}} = \sqrt{2 \left\{ [J_1'(w)]^2 + \left[\frac{J_1(w)}{w} \right]^2 \cos^2 \theta \right\}}. \quad (1)$$

В работе рассматриваются поляризационные характеристики такого излучателя. На рис. 1 показана экспериментальная характеристика (1).

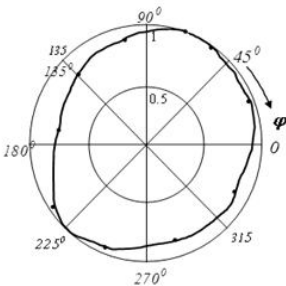


Рис. 1. Экспериментальная поляризационная характеристика

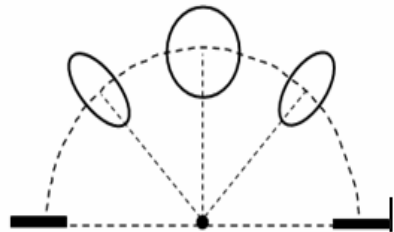


Рис. 2. Зависимость эллипса излучения от угла наблюдения

Составляющие вектора поляризации можно определить следующим образом:

$$h_{\theta} = \frac{\chi}{\sqrt{|\chi|^2 + 1}}, \quad h_{\phi} = \frac{\chi}{\sqrt{|\chi|^2 + 1}}, \quad (2)$$

где введен коэффициент эллиптичности:

$$\chi = \chi + i\chi'' = \frac{E_{\phi}}{E_{\theta}}. \quad (3)$$

Выполняя подстановку значений поля, окончательно получим:

$$\chi = i \frac{wJ_1(w) \cos \theta}{J_1(w)}. \quad (4)$$

Зависимость модуля коэффициента эллиптичности от угла наблюдения θ в радианах показана на рис. 2 соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Солдатов, А.А.* Рупорная коническая антенна с подмагниченным гиромагнитным резонатором // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2006. – Т. 4. – № 4. – С. 70 – 72.

2. *Полухин, Ю.Н., Солдатов, А.А.* Поле излучения антенны на гиромагнитном резонаторе и открытом резонаторе с диэлектрическим основанием // Гиромагнитная электроника и электродинамика. – 1990. – С. 85 – 86.

POLARIZATION CHARACTERISTICS OF AN EMITTER BASED ON A GYROMAGNETIC RESONATOR

Soldatov A.A.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

In this work, the polarization characteristics of antennas based on a magnetized gyromagnetic resonator are studied.

ЛАБОРАТОРНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ТОНКИХ ОБРАЗЦОВ

Солдатов А.А., Филимонова Л.Н.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В данной работе рассматривается один из методов лабораторного измерения диаметра тонких диэлектрических образцов на основе прямоугольного резонатора (рис. 1).

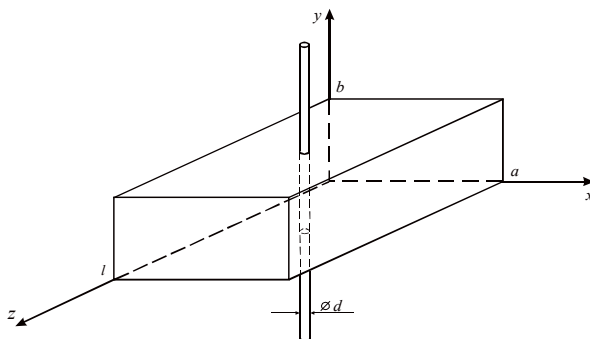


Рис. 1. Прямоугольный резонатор с образцом

Принимая во внимание метод малых возмущений, в данной работе было получено соотношение, с помощью которого можно определить диаметр цилиндрического образца:

$$d = \sqrt{2 \frac{\Delta f}{f_0} \frac{\alpha l}{\pi(\varepsilon - 1)}}. \quad (1)$$

В работе осуществлялось измерение f_0 на панорамном измерителе Р2 – 61. Далее вносился измеряемый образец и измерялся параметр Δf . Далее согласно (1) определяется непосредственно диаметр цилиндрического образца. На рис. 2 представлены полученные в ходе выполнения работы результаты измерения и расчета параметра d .

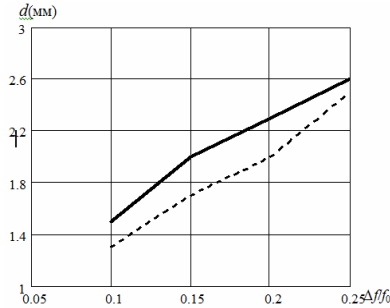


Рис. 2. Измеренный параметр d для $\epsilon = 9,6$: расчетная (—) и экспериментальная (- - -) кривые

Установка для измерения (рис. 3) была смоделирована в среде визуального моделирования.

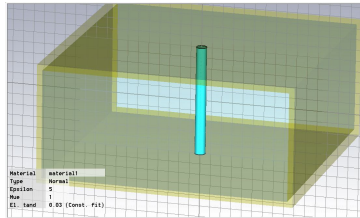


Рис. 3. Прямоугольный резонатор с измеряемым образцом

Меняя d по смещению экстремума элемента матрицы рассеяния S_{11} измеряется Δf и по (1) определяется d . Смоделированные характеристики достаточно близко совпадают с экспериментальными, что подтверждает адекватность метода.

LABORATORY METHOD FOR MEASURING THE DIAMETER OF THIN SAMPLES

Soldatov A.A., Filimonova L.N.

*(Povolzhskiy State University
of Telecommunications & Informatics)*

This work presents a method for measuring the diameter of thin dielectric samples based on the small perturbation method based on a rectangular resonator.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДАТЧИКА
НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО РЕЗОНАТОРА
ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ**

Гусев А.В., Ишкаев Т.М., Насыбуллин А.Р., Вальяров М.Э.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В СВЧ измерительной технике достаточно остро стоит вопрос калибровки датчиков перед проведением измерений комплексной диэлектрической проницаемости. Классические методы подразумевают использование образцовых материалов, значение комплексной диэлектрической проницаемости которых в требуемой полосе известны. Основной проблемой является малое количество материалов, для которых диэлектрические параметры известны с высокой точностью. В данной работе предлагается идея комплексной калибровки СВЧ-датчиков, заключающийся в создании компьютерной модели в программе электродинамического моделирования. В связи с тем, что физическая реализация и компьютерная модель неизбежно будут отличаться, требуется провести анализ, каким образом на калибровочную характеристику будет влиять разброс параметров модели. На рис. 1 показана модель датчика в виде прямоугольного кольцевого резонатора в микрополосковом исполнении, предназначенного для измерения жидкостей, располагаемых в резервуаре над резонатором.

Вариация размеров резонатора и параметров диэлектрической подложки в электродинамической модели выполнялось по закону нормального распределения. Для каждого варианта преобразовательного элемента оценивается добротность и резонансная частота [1] при различных значениях вещественной и мнимой частях комплексной диэлектрической проницаемости. Калибровочная функция определялась методом наименьших квадратов. Далее проводилась оценка степени отклонения калибровочных функций от варианта модели, условно принятой за идеализированную.

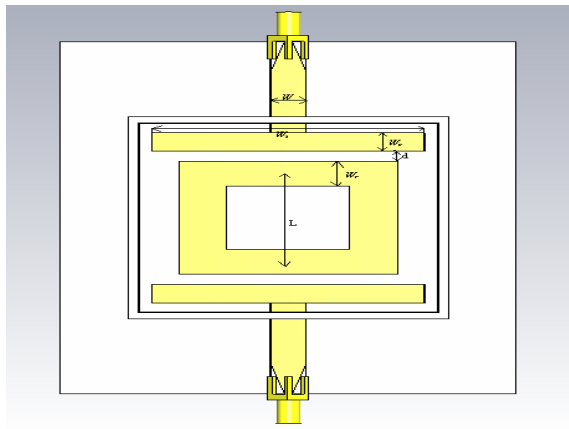


Рис. 1. Электродинамическая модель преобразовательного элемента

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гусев, А.В., Ишкаев, Т.М., Насыбуллин, А.Р.* Определение резонансной частоты и добротности резонансных датчиков // Сб. мат. XXII Всероссийской молодежной научно-технической конференции «Будущее технической науки». – Нижний Новгород, Россия, 2023. – С. 541-542.

SIMULATION OF A SENSOR BASED ON A RECTANGULAR SHAPE MICROSTRIP RESONATOR

Gusev A.V., Ishkaev T.M., Nasybullin A.R., Valiarov M.E.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The paper proposes the idea of comprehensive calibration of microwave sensors using computer models. The main emphasis is on the use of a Gaussian distribution to simulate process errors to generate a calibration curve.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЗЫ МИКАЭЛЯНА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ НАПРАВЛЕННЫХ СВОЙСТВ БИКОНИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

Бобрешов А.М.¹, Калошин В.А.², Смушева К.В.¹, Усков Г.К.¹

(¹Воронежский государственный университет,

²Институт радиоэлектроники им. В.А. Котельникова РАН)

Для улучшения направленных свойств биконических антенн в [1-2] используются различные диэлектрические линзы. Предложенные в [1] неоднородные линзы сложны в изготовлении. В данной работе предложена биконическая антенна (рис. 1) с линзой Микаэляна [3], которую можно реализовать на практике в виде дискретного набора слоев материала с различной диэлектрической проницаемостью, определяемой по формуле:

$$\varepsilon(z) = \varepsilon_0 / \left(\cosh \frac{\pi z}{2R} \right)^2,$$

где ε_0 – максимальная диэлектрическая проницаемость.

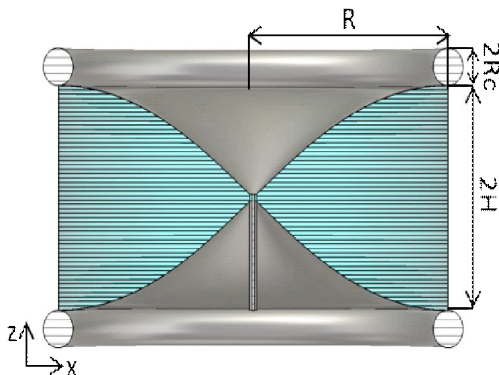


Рис. 1. Модель антенны

Форма образующей конуса совпадает с траекторией луча, распространяющегося в линзе Микаеляна:

$$z(x) = \frac{2R}{\pi} \operatorname{arcsin} h \left(\sin \left(\frac{\pi}{2R} x \right) \sinh \left(\frac{\pi H}{2R} \right) \right).$$

Далее было проведено электродинамическое моделирование антенны с параметрами: $H = 30$ мм, $R = 65$ мм, $R_c = 5$ мм, количество дискретных слоев линзы $N = 51$. Результаты моделирования представлены на рис. 2 и 3.

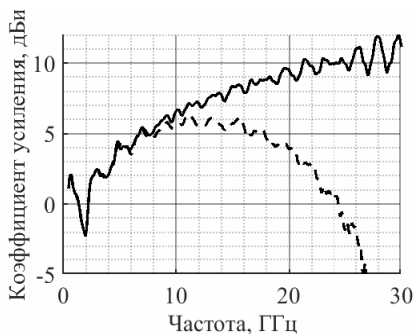


Рис. 2. Коэффициент усиления антенны в главном направлении с линзой (—), и без нее (---)

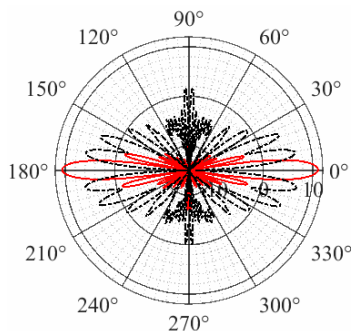


Рис. 3. Диаграммы направленности антенны на частоте 30 ГГц для антенны с линзой (красная сплошная линия), и без нее (черная пунктирная линия)

Применение линзы Микаеляна и выбор соответствующей ей формы образующей конусов позволило предотвратить искажение диаграммы направленности на частотах выше 15 ГГц и снизить уровень боковых лепестков во всем рабочем диапазоне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00323, <https://rscf.ru/project/21-19-00323/>.

Для выполнения численных расчетов в работе использовалось оборудование учебно-научного дизайн-центра проектирования радиоэлектронных систем СВЧ, терагерцевого и оптического диапазонов на отечественной электронной компонентной базе ФГБОУ ВО «ВГУ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бобрешов А.М. и др.* Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2019. – Т. 22. – № 4-1. – С. 44.
2. *Бобрешов А.М. и др.* СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2022. – № 4. – С. 108-109.
3. *Зелкин Е.Г, Петрова Р.А.* Линзовые антенны. – Москва: Советское радио, 1974.

APPLICATION OF A MIKAELIAN LENS TO IMPROVE THE DIRECTIONAL PROPERTIES OF A BICONIC ANTENNA

Bobreshov A.M.¹, Kaloshin V.A.², Smuseva K.V.¹, Uskov G.K.¹

*(¹Voronezh State University; ²Institute of Radio Engineering
and Electronics of Russian Academy of Sciences)*

A biconical antenna is proposed, the shape and filling of which that is inspired by the concept of a Mikaelyan lens. It was shown that this prevented distortion of the radiation pattern at frequencies above 15 GHz and reduced the side lobes level in the entire operating range.

УДК 621.396

АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ В СРЕДСТВАХ РАДИОПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БПЛА

Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А., Шагвалиев Р.М.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В последние годы в число актуальных выдвинулась задача защиты различных гражданских объектов, в том числе объектов топливно- энергетического комплекса от ударных БПЛА. Одним из эффективных средств решения, их задач является использование средств радиоэлектронной борьбы. Существующие средства, активно применяемые на практике, демонстрируют неплохую эффективность. К числу недостатков указанных средств можно отнести возможность создания ими непреднамеренных помех радиоэлектронным средствам, используемым упомянутыми объектами по своему функциональному назначению, в частности, вследствие интермодуляции. Число таких объектов, как правило, невелико, они локализованы в пределах ограниченной территории в близости со средствами радиопротиводействия (СРПРД)).

Использование в составе СРПРД управляемых антенных решеток, очевидно, может дать значительный эффект: при постоянной мощности излучения плотность потока мощности излучения в направлении БПЛА возрастает порядка в N раз (N – число элементов решетки) при заметном снижении уровней помех в окрестности многоэлементной антенны. Однако возможности антенных решеток этим не исчерпываются. Значительный эффект может быть достигнут путем использования специальной фокусировки антенны. Для этого управляемое апертурное распределение J устанавливается согласно критерию максимума напряженности поля в точке нахождения БПЛА (x_0, y_0, z_0) :

$$A(x_0, y_0, z_0) | J \rightarrow \max,$$

при условии мимального или, хотя бы, допустимого значения этой величины в точках (x_{im}, y_{im}, z_{im}) :

$$A(x_{im}, y_{im}, z_{im}) | J > \rightarrow \min .$$

В докладе рассматривается алгоритм решения указанной задачи и приводятся оценки достигаемого эффекта (рис. 1).

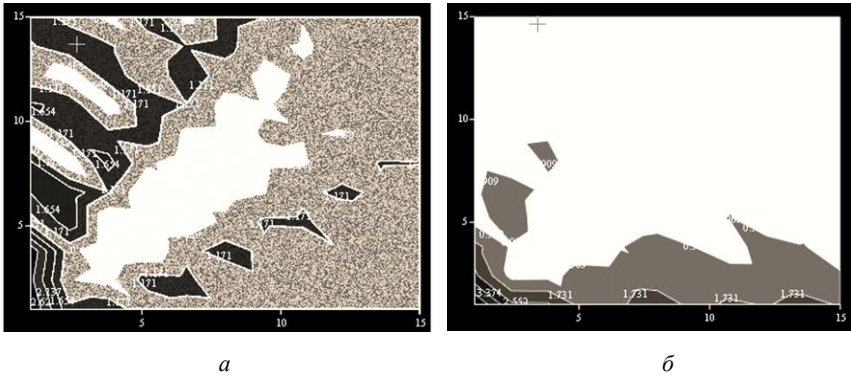


Рис. 1. Антенная решетка сфокусированная в $(51, 5001, 0)$ (*a*); антенная решетка, сфокусированная в $(51, 5001, 0)$ с минимумом $(41, 51, 0)$ (*b*)

ANTENNA ARRAYS IN UAV RADIO COUNTERMEASURES

Sedelnikov Y.E., Vedenkin D.A., Shagvaliev R.M.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The issues of ensuring the protection of industrial facilities from unmanned aerial vehicles are considered

УДК 621.317.7.023

ИЗМЕРЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ В ДИАПАЗОНЕ СВЧ

Лаврушев В.Н., Авксентьев А.А., Низамиев Р.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Приведены сведения о способе измерения комплексной диэлектрической проницаемости образцов материала.

Устройства и способы измерения диэлектрической проницаемости материалов обычно используют конфигурации, для которых можно рассчитать параметры по формулам и результатам измерений определить значения для диэлектрической проницаемости и угла диэлектрических потерь материала образца. Если в распоряжении исследователя имеется векторный измеритель СВЧ-параметров, можно точно измерить параметры устройства. При наличии компьютера со специальной программой анализа СВЧ-устройств в нее вводится 3D-модель устройства, рассчитываются ее параметры при разных диэлектрических проницаемостях, подбираются значения, при которых расчет и измерения совпадают.

Предлагается способ [1] измерения комплексной диэлектрической проницаемости материала в диапазоне СВЧ, включающий размещение образца из исследуемого материала в СВЧ-устройстве, измерение частотной зависимости коэффициента отражения и/или коэффициента передачи СВЧ-устройства с расположенным в нем образцом и обработку результатов измерения, при которой в электродинамической среде моделирования подбирают значения комплексной диэлектрической проницаемости образца так, чтобы расчетные частотные зависимости коэффициента отражения и/или коэффициента передачи минимально отличались от измеренных зависимостей, дополнительно измеряют и рассчитывают в электродинамической среде моделирования частотную зависимость коэффициента передачи СВЧ-устройства без расположенного в нем образца из исследуе-

мого материала и/или коэффициента передачи СВЧ-устройства с образцом из материала с известной комплексной диэлектрической проницаемостью, и по близости результатов измерений и расчетов судят о приемлемости используемой среды электродинамического моделирования и правильности описания в ней СВЧ-устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 2797142 Российская Федерация. Способ измерения комплексной диэлектрической проницаемости материала в диапазоне СВЧ / Чони Ю.И., Лаврушев В.Н., Авксентьев А.А.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ». – № 2022130400 (RU); заявл. 23.11.2022; опубл. 31.05.23. – Бюл. № 16. – 9 с.

MEASUREMENT OF COMPLEX DIELECTRIC CONTINUITY IN THE MICROWAVE RANGE

Lavrushev V.N., Avksentev A.A., Nizamiev R.R,

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

Information is provided on the method for measuring the complex dielectric constant of material samples.

УДК 537.876+621.39

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ
ЩЕЛЕВОЙ ЛИНИИ НА ИДЕАЛЬНОЙ
ПОЛУПЛОСКОСТИ**

Заярный В.П.¹, Пономарев И.Н.²

(¹ Волгоградский государственный технический университет, ² Волгоградский государственный университет)

На основе фундаментальных исследований были получены теоретические соотношения, связывающие возбуждающее поле в симметричной щелевой линии (ЩЛ) постоянной ширины, перпендикулярной бесконечной проводящей полуплоскости, с ее полем излучения в микроволновом диапазоне.

Особенности поля излучения ЩЛ в дальней зоне в главных электродинамических плоскостях E и H представлены в тензорных функциях Грина, анализ которых получил детальное описание в [1-3]. В этом случае реальная конструкция щелевой антенны была заменена математической моделью ЩЛ на идеальной полуплоскости бесконечных размеров, имеющей точное решение в зоне излучения методом разделения переменных Фурье. Щель была запитана внешним сторонним электрическим полем с частотой $f_0 = 10$ ГГц ($\lambda_0 = 3$ см). Испытания проводились для семейства расчетных и измеренных диаграмм направленности (ДН) ЩЛ, у которых изменялись длины щели в пределах $(1-18) \cdot \lambda_0$ и постоянная ширина щели в пределах $(0,25-3,0) \cdot \lambda_0$.

Результаты расчета поля излучения в плоскости E и в плоскости H продемонстрировали достаточно хорошее совпадение с экспериментом для ДН по уровню половинной мощности [2]. Наглядный пример такого совпадения диаграмм излучения для исследовавшихся ЩЛ приведен на рис. 1.

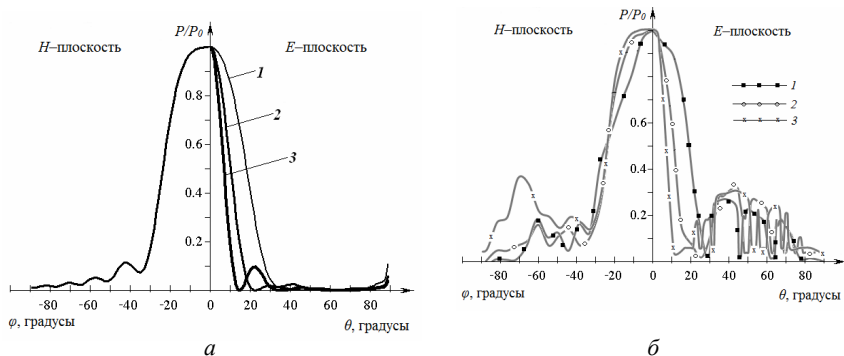


Рис. 1. Расчетные (а) и измеренные (б) ДН, исследовавшихся ЩЛ при постоянной длине антенны $L = 15$ см и для величин ширины щели $W = 3$ см (1), $W = 6$ см (2), $W = 9$ см (3)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нефёдов, Е.И., Пономарев, И.Н., Заярный, В.П. // Известия вузов. Радиофизика. – 2021. – Т. 64. – № 5. – С. 384-394.
2. Нефёдов, Е.И., Заярный, В.П., Пономарев, И.Н. // Радиотехника и электроника. – 2021. – Т. 66. – № 4. – С. 365-372.
3. Нефёдов Е.И., Пономарев И.Н., Заярный В.П. // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2023. – Т. 26. – № 2. – С. 27-35.

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF RADIATION PROPERTIES OF THE SLOT LINE ON IDEAL HALF-PLANE

Zayarnyi V.P.¹, Ponomarev I.N.²

(¹Volgograd State Technical University,

²Volgograd State University)

The results of calculation and experiment for traveling wave antennas on constant width slot line are presented. The calculation model is based on the solution for the ideal half plane at the diffraction theory.

СЕКЦИЯ 5

**ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ СВЯЗИ
И РАДИОФОТОНИКА**

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА ОПТИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ КАСКАДНЫХ ДПВР

Бударагин Р.В., Радионов А.А., Саласенко З.Ю.

*(Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева)*

К световодам со вставками нестандартных волокон относятся такие структуры, как длиннопериодные волоконные решетки (ДПВР) и их каскадное соединение. На их основе создаются частотно-разделительные устройства, например, волоконно-оптические фильтры [1]. В докладе предложена электродинамическая модель такого фильтра, алгоритм расчета структуры (рис. 1) и представлены результаты расчета.

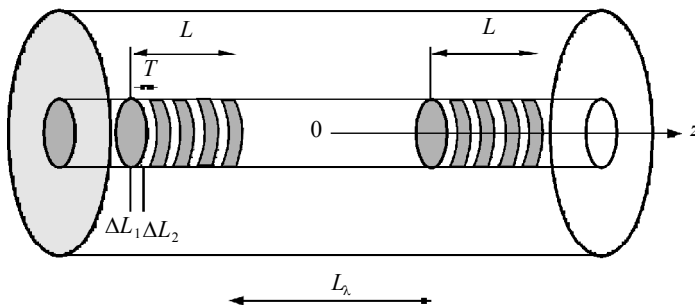


Рис. 1

При расчете приняли допущение, что каждый стык волокон – соединение регулярных отрезков волноводов с постоянными параметрами. Сочетая строгие электродинамические метод частичных областей и метод декомпозиции, решаем задачу дифракции и находим коэффициенты прохождения и отражения структуры. Апробация рассматриваемого метода осуществлялась сведением модели двухкаскадной ДПВР к единичной и сравнением результатов с результатами, полученными с помощью других методов расчета. Полученные результаты совпали с точностью до 95 %.

Использование предложенного метода позволило подтвердить частотно-избирательные свойства структуры на основе двухкаскадной ДПВР. В результате проведенного моделирования было установлено, что спектр пропускания такого фильтра является многополосным, а число полос определяется его геометрией. Спектр каскадной ДПВР содержит множественные резонансы с огибающей, совпадающей со спектром пропускания единичной ДПВР (рис. 2). На рис. 2 сплошной линией обозначен спектр двухкаскадной ДПВР, а пунктирной линией – единичной ДПВР.

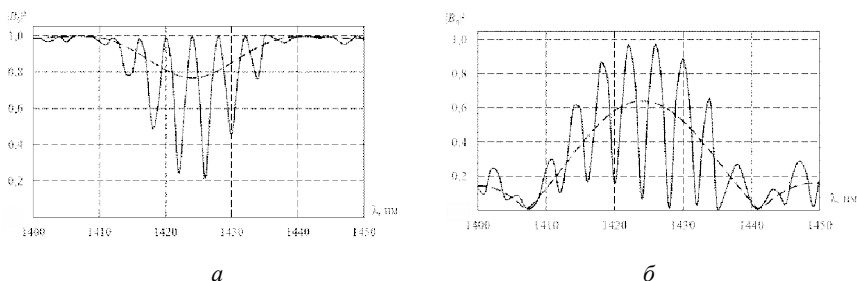


Рис. 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бударагин, Р.В., Курзенков, М.И., Радионов, А.А., Саласенко, З.Ю. Расчет двухкаскадной длиннопериодной волоконной решетки показателя преломления // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2022. – Т. 25. – № 3. – С. 73-81.

DEVELOPMENT OF AN OPTICAL FILTER BASED ON CASCADE LPG

Budaragin R.V., Radionov A.A., Salasenko Z.IU.

(Nizhny Novgorod State Technical University)

Optical fibers with inserts of non-standard fibers include such structures as long-period fiber gratings (LPG) and their cascade connection. On their basis, frequency-separating devices are created, for example, fiber-optic filters. The report proposes an electrodynamic model of such a filter, an algorithm for calculating the structure and presents the results of the calculation.

СЕКЦИЯ 6

**УСТРОЙСТВА
И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ**

УДК 621.31

**УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ:
ОБЗОР, СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ
РЕШЕНИЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ**

Комар К.О., Мирханова А.Н., Идиатуллов З.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В данной работе представлен обзор, сравнение и рекомендации по выбору оптимальных устройств и систем электропитания. Рассматриваются основные типы электропитающих систем, их преимущества и недостатки, а также анализируются факторы, влияющие на выбор оптимального решения для конкретной отрасли.

Устройства и системы электропитания сегодня стали неотъемлемой частью нашего современного мира. Они обеспечивают надежное функционирование различных отраслей, начиная от бытовой техники и заканчивая сложными промышленными процессами. В данной статье рассматриваются основные типы устройств и систем электропитания, их особенности и преимущества. Также проводится сравнительный анализ и даются рекомендации по выбору наиболее подходящих решений для различных отраслей.

Наиболее распространенным типом устройств электропитания являются сетевые источники питания, используемые для обеспечения стабильного питания оборудования в случае отключения основного источника энергии, а также для защиты от перепадов напряжения и коротких замыканий.

Автономные источники питания не требуют подключения к сети и могут работать на основе различных источников энергии, таких как солнечные панели, ветрогенераторы или аккумуляторы. Они идеально подходят для использования в местах, где нет доступа к электросети, или для обеспечения резервного питания в случае отключения электроэнергии.

Для изменения входного напряжения устройства на требуемое значение применяются преобразователи напряжения. Они необходимы при работе оборудования в условиях, где сетевое напряжение отличается от требуемого для устройства.

Устройства стабилизации напряжения предназначены для поддержания стабильного напряжения на выходе источника питания независимо от колебаний входного напряжения. Они особенно полезны в случаях, когда оборудование очень чувствительно к перепадам напряжения [1].

Для выбора наиболее подходящей системы электропитания следует учитывать множество факторов, таких как тип оборудования, условия эксплуатации, требования к надежности и энергоэффективности. Для различных отраслей существуют рекомендации по выбору оптимальной системы электропитания:

1) для бытовой техники рекомендуются сетевые источники питания с функцией стабилизации напряжения и защиты от коротких замыканий;

2) для офисного оборудования подходят автономные источники питания на основе аккумуляторов или солнечных панелей;

3) промышленное оборудование требует сетевые источники питания высокой мощности с возможностью резервирования;

4) медицинское оборудование требует источники бесперебойного питания с высокой степенью надежности и быстродействием;

5) транспортным средствам требуются преобразователи напряжения для изменения напряжения бортовой сети;

6) оборудование для телекоммуникаций требует источники питания с возможностью регулировки выходного напряжения и тока [2].

В итоге, выбор оптимальной системы электропитания зависит от множества факторов, таких как условия эксплуатации, тип оборуду-

дования и требования к надежности. Поэтому необходимо тщательно взвесить все параметры и рекомендации для каждой отрасли при выборе системы электропитания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гайнуллина, А.А., Майлов, Н.Н., Идиатуллов, З.Р.* Эксплуатация электронной техники по состоянию с контролем стабильности параметров // Вестник Казанского государственного технологического университета. – 2014. – Т. 17. – № 19. – С. 284-288.
2. Системы электропитания [Электронный ресурс] URL: <https://electricalschool.info/main/elsnabg/1077-cistemy-jelektropitanija.html>

DEVICES AND POWER SUPPLY SYSTEMS: OVERVIEW, COMPARISON AND SELECTION OF OPTIMAL SOLUTIONS FOR VARIOUS INDUSTRIES

Komar K.O., Mirkhanova A.N., Idiatullov Z.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This paper presents an overview, comparison and recommendations on the choice of optimal devices and power supply systems. The main types of power supply systems, their advantages and disadvantages are considered, and the factors influencing the choice of the optimal solution for a particular industry are analyzed.

УДК 621.396

ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МАТЕРИАЛОВ В УСТРОЙСТВАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Дыганов А.В., Идиатуллов З.Р.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Современные технологии и материалы играют ключевую роль в развитии устройств электропитания, обеспечивающих стабильную работу различных электронных устройств. В данной статье рассматриваются актуальные исследования и разработки в области создания эффективных и надежных элементов питания, использующих передовые технологии и материалы.

Изучение современных технологий и материалов в устройствах питания является актуальной темой, поскольку эти устройства играют важную роль в нашей жизни. В этой статье мы рассмотрим основные технологии и материалы, используемые в устройствах питания, а также перспективы их развития.

Полупроводниковые материалы являются основой современных устройств питания. Они используются для создания транзисторов, диодов и других элементов, преобразующих электрическую энергию в другие виды энергии. Современные полупроводники обладают высоким КПД, что позволяет создавать более компактные и мощные устройства.

Интегральные схемы также играют важную роль в устройствах питания. Они позволяют создавать компактные, надежные и эффективные устройства, способные работать в различных условиях окружающей среды.

Материалы для корпусов и радиаторов также важны для устройств электроснабжения, так как они должны быть прочными, легкими и обладать хорошей теплопроводностью. Алюминиевые сплавы, медь и другие металлы используются для изготовления корпусов и радиаторов.

Аккумуляторы используются для накопления энергии в устройствах питания. Современные аккумуляторы обладают высокой емкостью, долговечностью и безопасностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-sozdaniya-optimalnyh-shem-elektropitaniya-magnitno-impulsnyh-ustroystv>

RESEARCH OF MODERN TECHNOLOGIES AND MATERIALS IN POWER SUPPLY DEVICES

Dyganov A.V., Idiatullov Z.R.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

Modern technologies and materials play a key role in the development of power supply devices that ensure the stable operation of various electronic devices. This article discusses current research and development in the field of creating effective and reliable batteries using advanced technologies and materials.

УДК 621.341.572

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СЕТИ МИКРОГРИД, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДВУХ ИНВЕРТОРОВ, В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ НАГРУЗКИ

Воронцов Д.А.

*(Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет),
ООО «НТЦ АКТОР»)*

Спрос на электроэнергию стремительно возрастает, причем рост энергопотребления опережает мощности электросети. Для решения этой проблемы прибегают к использованию альтернативных источников энергии или накопителей. Одним из решений в вопросе повышения энергоэффективности сети является подключение дополнительного microgrid (микрогрид, МГ). Сеть микрогрид также применима в условиях малой нагрузки в отсутствие централизованной сети, но наличии нескольких маломощных источников электроэнергии. Задача синхронизации элементов микросети стоит как в случае изолированной работы МГ [1], так и в случае подключения к сети [2].

В настоящей работе рассмотрены методы синхронизации МГ, состоящей из двух инверторов. В ходе работы микросети возможны различные изменения характеристик подключаемой нагрузки, а также падение напряжения питания инверторов. В данной работе построена математическая модель микросети, состоящей из двух инверторов. Модель включает в себя силовую часть, представляющую собой два инвертора, параллельно включенных на общую нагрузку, и кольцо управления ШИМ. На основании модели проведено исследование устойчивости построенной МГ в условиях изменяющейся активной и реактивной нагрузок. Проведена симуляция работы микросети в случае падения напряжения на одном из инверторов. Моделирование проводилось в среде MATLAB/Simulink.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Серегин, Д., Федорова, М., Бадалян, А., Громов, В.* Параллельное включение инверторов напряжения: анализ устойчивости // Силовая электроника. – 2023. – № 3. – С. 40-47.
2. *Pogaku, N., Prodanovic, M. and Green, T.C.* Modeling analysis and testing of autonomous operation of an inverter-based microgrid // IEEE Trans. Power Electron. Mar. 2007. – Vol. 22. – №. 2. – Pp. 613-625.
3. *Мелешин, В.И.* Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / В.И. Мелешин, Д.А. Овчинников. – Москва: Техносфера, 2011. – 576 с.
4. *Majidi, M., Ibanez, F.M., Pozo, D., Nazeri, A.A.* A Guideline for Modeling Voltage and Frequency Controls in AC Microgrids // The Influence of Line Impedance on Transient Time. – 2019. IEEE Milan PowerTech.
5. *Jasim Farhood* Modelling, Design and Implementation of DQ Control in Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Systems used in Domestic Dwellings // De Montfort University, 2013.
6. *Panda, S., Mishra, A., Srinivas, B.* Control of Voltage Source Inverters using PWM/SVPWM for Adjustable Speed Drive Applications // Department of Electrical Engineering National Institute Of Technology Rourkela, Rourkela 2009.
7. *Botteron, F., Pinherio, H., Pinherio, J.R.* Space vector modulation for voltage-source inverters: A unified approach // 2002 IECON 02 [Industrial Electronics Society, IEEE 2002. 28th Annual Conference of the]
8. *Nazeri A.A., Zacharias P., Ibanez F.M., Idrisov I.* Paralleled Modified Droop-Based Voltage Source Inverter for 100% Inverter-Based Microgrids // 2021 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 1-8, Oct 2021.

MODELLING OF MICROGRID NETWORK CONSISTING OF TWO INVERTERS UNDER VARYING LOAD CONDITIONS.

Vorontsov D.A.

(Moscow Institute of Physics and Technology, LLC «NTC ACTOR»)

In this paper, the methods of synchronisation of the MG consisting of two inverters are considered, the mathematical model of the microgrid consisting of two inverters is constructed, simulation of the microgrid operation in case of voltage drop on one of the inverters is carried out.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕМКОСТНО-СВЯЗАННЫХ ЦЕПЕЙ ДЛЯ ОБЪЯСНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЕМКОСТЕЙ ДРОССЕЛЯ

Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В.

*(Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича)*

При расчете и проектировании фильтра радиопомех необходимо знать схемы замещения дросселей и конденсаторов [1, 2]. Одним из важных параметров дросселя, ограничивающих его высокочастотное применение, является его емкость. Основная масса авторов [1, 3] говорят, что существует три типа емкости дросселя (на примере двухобмоточного дросселя (рис. 1): межвитковая C_a , между витком и сердечником C_b и межобмоточная C_c . В работах [1, 2, 4] было показано, что материал сердечника дросселя может создавать емкость в схеме замещения дросселя из-за того, что сердечник имеет собственную резонансную частоту [4]. Поэтому все эти три вида емкости перенесли в ВЧ-область в зависимости от количества витков [1, 5].

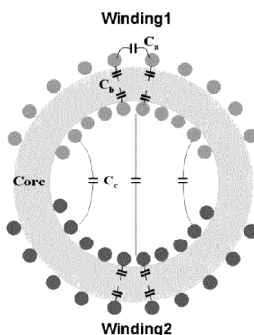


Рис. 1. Емкости в двухобмоточном дросселе [4]

В данном докладе на примере измеренных комплексных сопротивлений воздушного дросселя с разным вариантом обмоток показана-

на состоятельность использования концепции емкостно-связанных цепей для объяснения различных емкостей воздушного дросселя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cuellar, C.* HF Characterization and Modeling of Magnetic Materials for the Passive Components Used in EMI Filters // PhD Doctoral, Electrical Engineering, University of Lille 1, Lille – France, 2013. – 2010 с. URL: <https://pepite-depot.univ-lille.fr/LIBRE/EDSPI/2013/50376-2013-Cuellar.pdf>

2. *Дмитриков, В.Ф., Исаев, В.М., Куневич, А.В., Шушпанов, Д.В., Петроченко, А.Ю.* Высокочастотная модель катушки индуктивности // Наноиндустрия. – 2021. – Т. 14. – № S7 (107). – С. 415-417.

3. *Wang, S., Lee, F.C., and van Wyk, J.D.* Design of Inductor Winding Capacitance Cancellation for EMI Suppression // IEEE Transactions on Power Electronics. Nov. 2006. – Vol. 21. – №. 6. – Pp. 1825-1832.

4. *Дмитриков, В.Ф., Шушпанов, Д.В.* Эквивалентная схема замещения дросселя, намотанного на феррите, в широком диапазоне частот (0 Гц – 500 МГц) // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2021. – Т. 24. – № 4. – С. 25-45.

5. *Salomez, F., Videt, and Idir, N.* Modeling and Minimization of the Parasitic Capacitances of Single-Layer Toroidal Inductors // IEEE Transactions on Power Electronics, Oct. – 2022. – Vol. 37. – № 10. – Pp. 12426-12436.

USING CAPACITATIVELY COUPLED CIRCUITS TO EXPLAIN DIFFERENT CAPACITIES IN AN INDUCTOR

Dmitrikov V.F., Shushpanov D.V.

*(The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University
of Telecommunications)*

Using the example of measured complex impedances of an air inductor with different winding options, the viability of using the concept of capacitively coupled circuits to explain the different capacitances of an air inductor is shown.

СХЕМА ЗАМЕЩЕНИЯ ДРОССЕЛЯ С ЛЮБЫМИ ТИПАМИ СЕРДЕЧНИКА И НАМОТКИ

Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В.

*(Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича)*

При проектировании радиоэлектронной аппаратуры разработчикам необходимо знать частотные характеристики комплексных сопротивлений конденсаторов и дросселей и их точные высокочастотные эквивалентные электрические структурно-параметрические схемы замещения (поведенческие модели) в широком диапазоне частот до 100 МГц и выше, хорошо адаптируемые к современным вычислительным программам схемотехнического моделирования.

В работе [1] была построена схема замещения дросселя с тороидальным ферритовым сердечником, так как именно этот материал наиболее часто используется в силовой электронике. Данная схема замещения была построена с учетом физических эффектов (влияние сопротивления провода, влияние материала сердечника, взаимное влияние провода и материала сердечника), т.е. была сделана попытка объяснить, почему частотные характеристики (модуль и фаза) комплексного сопротивления так ведут себя в широкой полосе частот (до 500 МГц).

В работе [2] была предложена электрическая структурно-параметрическая схема замещения дросселя, использующего нанокристаллический кольцевой сердечник MSFN-25S-TH. Ее частотные характеристики получились достаточно близкими с измеренными частотными характеристиками сопротивления дросселя в широкой полосе частот (от 0 до 500 МГц).

В данном докладе на примере измеренных комплексных сопротивлений воздушного дросселя с разным вариантом обмоток показана состоятельность использования концепции емкостно-связанных цепей для объяснения различных емкостей воздушного дросселя,

а также, используя подход, предложенный в работе [2] (разделение в схеме замещения дросселя влияния провода и влияние сердечника), производится модификация схемы замещения дросселя на ферритном сердечнике так, чтобы она не зависела от количества витков, как в работе [1].

Таким образом, получена «универсальная» схема замещения, в которой можно отдельно менять тип и размер сердечника, а также тип провода и способ намотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дмитриков, В.Ф., Шушпанов, Д.В.* Эквивалентная схема замещения дросселя, намотанного на феррите, в широком диапазоне частот (0 Гц – 500 МГц) // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2021. – Т. 24. – № 4. – С. 25-45.

2. *Дмитриков, В.Ф., Шушпанов, Д.В., Фоченков, Э.А.* Эквивалентная схема замещения дросселя на нанокристаллическом сердечнике с большой магнитной проницаемостью // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2022. – Т. 25. – № 4. – С. 100-121.

INDUCTOR EQUIVALENT CIRCUIT WITH ANY TYPES OF CORE AND WINDING

Dmitrikov V.F., Shushpanov D.V.

(The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications)

Using the separation of the wire influence and the core influence in the inductor equivalent circuit, the equivalent circuit of the ferrite core inductor is modified so that it does not depend on the number of turns. A “universal” equivalent circuit is obtained, in which core type, core size, wire type, and the winding method can be changed separately.

УДК 541.135

УГЛЕВОЙЛОЧНЫЕ КАРКАСЫ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДНОЙ ТОКОПРОВОДЯЩЕЙ ОСНОВЫ

Жукова Д.Н., Морозов М.В.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В данной работе рассматривается использование углеволокнистых каркасов в качестве электродной токопроводящей основы, а также исследуется электрическое сопротивление.

Углеволокнистые каркасы являются эффективной электродной токопроводящей основой для использования в различных электронных и электротехнических устройствах. Углеволокно обладает высокой проводимостью, низким удельным сопротивлением, имеет низкую плотность и высокую механическую прочность, что позволяет использовать его в конструкциях, которые требуют высокой нагрузочной способности при небольшом весе [1].

Углеволокно состоит из углеродных волокон диаметром 3-15 мкм, расположенных в произвольном направлении (рис. 1). Обладает пористостью 94-97 %.

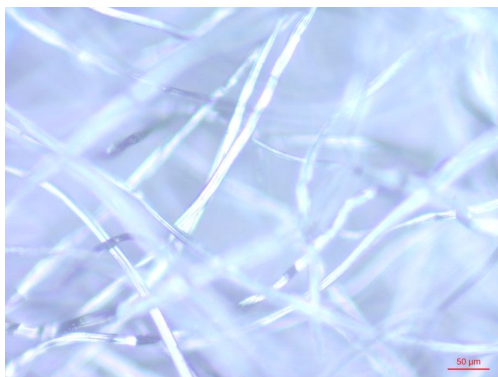


Рис. 1. Углеволокно (увеличение 200х)

Для оценки электрического сопротивления исследуемой электродной основы был применен метод циклической вольтамперометрии с линейной разверткой потенциала, позволяющий получить циклические потенциодинамические поляризационные кривые. В процессе исследований использовался потенциостат/гальваностат AUTOLAB PGSTAT302N, а также программное обеспечение NOVA. В ходе оценки было выяснено, что углеволок в качестве электродной основы имеет сопротивление $5,3 \pm 0,3$ Ом.

Углеволоконные каркасы могут быть использованы в различных типах устройств, включая батареи, суперконденсаторы, солнечные панели, литий-ионные аккумуляторы и другие электрохимические системы, позволяют улучшить эффективность и производительность этих устройств, а также уменьшить их размер и вес.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Le, Thi Xuan Huong, Bechelany, M., Cretin, M.* Carbon felt based-electrodes for energy and environmental applications: A review // Carbon. – 2017. – Vol. 122. – Pз. 546-559.

CARBON FELT FRAMES AS AN ELECTRODE CONDUCTIVE BASE

Zhukova D.N., Morozov M.V.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

In this paper, the use of carbon-fiber frameworks as an electrode conductive base is considered, and electrical resistance is also investigated.

УДК 621.314

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖЕЛАЕМОГО ДИНАМИЧЕСКОГО
РЕЖИМА ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ
ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ
С ДВУХКОНТУРНЫМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ**

Андрянов А.И.

(Брянский государственный университет)

Рассматриваются вопросы обеспечения устойчивости желаемого динамического режима преобразователей постоянного напряжения с двухконтурными системами управления. Предложены структуры систем управления, повышающие качественные показатели системы. Полученные результаты подтверждаются компьютерным моделированием.

При проектировании систем управления импульсными преобразователями напряжения (ИПН) с повышенными требованиями к качеству управления часто обеспечивают контроль максимального количества координат вектор состояния, что позволяет улучшить качественные показатели управления [1, 2]. В данном случае в качестве контролируемых координат, как правило, используются выходное напряжение, которое примерно совпадает с напряжением конденсатора фильтра и ток дросселя фильтра или ток конденсатора фильтра. В данных системах внутренним (подчиненным) контуром является контур тока, в внешнем контуром – контур напряжения. Контур тока может быть реализован как полноценный контур с регулятором тока или быть упрощенным, когда регулирование тока осуществляется по его максимальному мгновенному значению в пределах тактового интервала (так называемое токовое управление). В последнем случае регулятор тока отсутствует.

Также известно, что стабилизированные преобразователи постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией являются нелинейными динамическими системами, склонными к появлению нелинейных колебаний [3]. В некоторых случаях возникновение та-

ких колебаний не может быть точно предсказано с помощью мало-сигнальных моделей, что требует применения нелинейных динамических моделей в виде нелинейных разностных уравнений и метода точечных отображений, поскольку основной режим работы таких устройств – колебательный.

Также требуется совершенствование систем управления таких устройств, направленное на разработку подходов, ориентированных на стабилизацию неподвижной точки желаемого динамического режима (в определениях метода точечных отображений), а не на стабилизацию точки равновесия, как это принято при использовании теории линейных динамических систем. Это позволяет расширить возможности системы управления по обеспечению требуемого динамического режима.

В работе рассматриваются два типа двухконтурных систем управления: системы управления с полноценным контуром тока и системы управления с упрощенным токовым контуром.

Выполнен параметрический анализ нелинейной динамики рассматриваемых устройств и показана возможность возникновения нежелательных колебаний выходного напряжения в условиях изменения внешних воздействий.

Разработаны модификации типовых структур систем управления с применением метода с запаздывающей обратной связью и метода направления на цель, обеспечивающие устранение нежелательных динамических режимов. В составе модифицированных систем управления используется дополнительная система управления нелинейными динамическими процессами, которая обеспечивает устойчивость именно неподвижной точки желаемого режима. Рассмотрена проблематика управления нелинейными динамическими процессами и выбора количества фазовых переменных для формирования управляющих воздействий. Получены результаты моделирования, подтверждающие эффективность принятых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов, Г.А. Системы управления полупроводниковыми преобразователями: монография / Г.А. Белов. – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова, 2023. – 284 с.

2. *Дмитриков, В.Ф.* Устойчивость и электромагнитная совместимость устройств и систем электропитания / В.Ф. Дмитриков, Д.В. Шушпанов. – Москва: Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком», 2019. – 540 с.

3. *Zhusubaliyev, Zh.T.* Bifurcations and chaos in piece-wise-smooth dynamical systems / Zh.T. Zhusubaliyev, E. Mosekilde. – Singapore: World Scientific Pub Co Inc, 2003. – 376 p.

ENSURING THE DESIRED DYNAMIC MODE OF DC/DC CONVERTERS WITH DOUBLE-LOOP CONTROL SYSTEMS

Andriyanov A.I.

(Bryansk State Technical University)

The issues of ensuring the stability of the desired dynamic mode of DC/DC converters with dual-loop control systems are considered. Structures of control systems are proposed that increase the quality indicators of the system. The results obtained are confirmed by computer simulation.

СЕКЦИЯ 7

ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.316

ОРГАНИЗАЦИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МИКРОГРИД

Сычёв А.С., Ивукова Н.К.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Истощение запасов ископаемого топлива и плохая экологическая обстановка заставляют искать новые методы выработки электроэнергии, например, за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Быстрое развитие технологий ВИЭ сопряжено с трудностями прерывистой выработки электроэнергии из-за зависимости ВИЭ от внешних условий. Это влечет за собой снижение качества электроэнергии и сбои в системе, которые могут нанести ей значительный вред.

Микрогрид – мелкомасштабная автономная энергоустановка, состоящая из различных электрогенераторов, возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, облачных систем хранения электроэнергии и потребителей. Микрогрид может работать в автономном режиме или подключаться к общей сети электроснабжения. Отличительной чертой этой системы является высокий уровень оснащения различными цифровыми устройствами, а также обильное внедрение ИКТ.

Сейчас по всему миру ведутся разработки и поиски новых и экологически безопасных источников энергии: активно разрабатывается солнечная, ветровая и гидроэлектроэнергетика. Но зачастую на фоне такого бурного поиска и модернизации ВИЭ без должного вни-

мания остается еще один немаловажный фактор развития современной энергетики: поиск решений по оптимизации, а также рационализации распределения этой самой энергии. Введение такого рода систем в энергетический сектор значительно ускорит процесс внедрения ВИЭ, увеличит спрос на альтернативную энергетику, а объектам электроснабжения позволит намного эффективнее использовать «зеленую» энергию.

Таким образом, наш проект направлен на то, чтобы внести вклад в развитие умных систем распределения энергии: разработать миниатюрную модель системы микрогрид с целью возможности дальнейшего прототипирования различных алгоритмов и схемотехнических решений для коммерческого образца и внедрения его на реальные объекты.

Модель можно разделить на две части: материальную и цифровую.

Материальная включает в себя альтернативные источники энергии, аккумулятор и потребители. Также в модели используются схемотехнические решения для стабилизации напряжения и защиты нагрузки. Цифровую часть составляет так называемая «Виртуальная электростанция», состоящая из микроконтроллеров и периферийных устройств.

На данный момент модель разработана и полностью функционирует. Проводились испытания по отключению аккумулятора и генераторов, а также на надежность испытывался алгоритм «общения» КМ. Хорошо показала себя система мониторинга, которая может бесперебойно работать на протяжении долгого времени. Модель прошла апробацию на конкурсе ИССЕТ 2019 и является достаточно гибкой для внедрения новых компонентов для испытаний, например, водородный топливный элемент в качестве 3-го генератора, с которым система показала себя отлично.

Данная система является хорошей базой для создания «умного дома». Но в качестве потребителей могут выступать не только различные электрические приборы в доме, но и сами дома и всякого рода организации, как в системе «умного города».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Jing, W. et al.* Battery-supercapacitor hybrid energy storage system in standalone DC microgrids: areview //IET Renewable Power Generation. – 2016. – Vol. 11. – №. 4. – Pp. 461-469.
2. *Zeng, H., Yang, Q.* Adaptive voltage regulation of islanding DC microgrid with multiple distributed PVs and storage units //The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC). – IEEE, 2015. – Pp. 5528-5533.
3. *Olivares D.E. et al.* Trends in microgrid control //IEEE Transactions on smart grid. – 2014. – Vol. 5. – №. 4. – Pp. 1905-1919.
4. *Hirsch, A., Parag, Y., Guerrero, J.* Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues //Renewable and sustainable Energy reviews. – 2018. – Vol. 90. – Pp. 402-411.
5. *Дназ-González, F. et al.* A review of energy storage technologies for wind power applications //Renewable and sustainable energy reviews. – 2012. – Vol. 16. – №. 4.

ORGANIZATION OF DECENTRALIZED INFORMATION SYSTEMS IN MICROGRID

Sychev A.S., Ivorkova N.K.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

This article talks about the microgrid system – a small-scale autonomous power plant consisting of various electric generators, renewable and non-renewable resources, cloud-based electricity storage systems and consumers.

ОЦЕНКА СТИЛЯ ВОЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ. ЧАСТЬ 1. СБОР ДАННЫХ

*Веденькин Д.А., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д.,
Гильфанова А.Ф.*

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

С каждым годом количество машин на дорогах увеличивается, вместе с тем растет и число водителей, навыки которых необходимо оценивать. Подобного рода информация будет полезна как самому автомобилисту, так и производителю автомобиля, организациям, оказывающим страховые или сервисные услуги, спасательным и экстренным службам.

Современные автомобили – высокотехнологичные комплексы с большим количеством датчиков и различными системами управления, использующими такие внешние информационные данные, как координаты от спутниковой навигации с последующей привязкой к карте местности, системы считывания дорожных знаков, разметки, оценки бокового интервала, дистанции до других объектов, скоростей сближения с другими участниками дорожного движения и объектами инфраструктуры. Эти подсистемы могут быть реализованы с использованием оптических [1], микроволновых [2] технологий с учетом требований ЭМС, подходы к которым описаны в работе [3].

В задаче оценки стиля вождения можно выделить следующие критические данные, необходимые для сбора:

- 1) скорость движения и разницу в скорости движения автомобиля и разрешенной скорости движения на данном участке;
- 2) обороты двигателя, массовый расход воздуха, передачу;
- 3) интенсивность ускорения и торможения;
- 4) диапазон и частоту отклонения рулевого колеса в зависимости от скорости движения;
- 5) расстояние до препятствий и боковые интервалы;

б) навигационные данные, погодные условия, состояние дорожного покрытия и пр.

Периодичность опроса датчиков и формирование потока данных определяется объемом памяти и требованиями по оценке скорости изменения параметров. Типовые значения периодичности опроса составляют порядка 2-5 секунд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лустина, А.А., Денисенко, П.Е., Шагвалиев, Р.М., Иванов, А.А., Морозов, О.Г. и др. Векторный измеритель доплеровского сдвига частоты локационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции и волоконной брэгговской решетки, подерживающей поляризацию // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2023. – Т. 3. – № 2. – С. 32-43.

2. Веденькин, Д.А., Седельников, Ю.Е. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2015. – Т. 18. – № 3. – С. 23-30.

3. Веденькин, Д.А., Седельников, Ю.Е., Латышев, В.Е. Оценка электромагнитной совместимости радиотехнического оборудования перспективных беспилотных летательных аппаратов на этапах разработки // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2014. – № 5(24). – С. 57-64.

CAR DRIVING STYLE ASSESSMENT. PART 1: DATA COLLECTION

Vedenkin D.A, Kuryanova E.A., Lifareva D.D., Gilphanova A.F.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The report discusses the data to build a system for analyzing the driving style of a car. The criteria for polling sensors are given.

УДК 65.012.123

ОЦЕНКА СТИЛЯ ВОЖДЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ. ЧАСТЬ 2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

*Веденькин Д.А., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д.,
Гильфанова А.Ф.*

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Оценка стиля вождения автомобиля является одной из важных и объективных характеристик качества подготовки водителей. Для юридических лиц эта оценка открывает возможности повышения эффективности использования транспортного средства, снижения расходов на обслуживание и уменьшение вероятности возникновения дорожных инцидентов. Предлагаемая методика предусматривает возможность оценки стиля вождения в различных ситуациях: трасса, городские улицы, жилые зоны. Для каждой из ситуаций формируются свои границы допустимого изменения оцениваемых параметров. Также может быть рассчитана и обобщающая оценка стиля вождения с учетом времени движения автомобиля в каждой из ситуаций.

Методика формирования оценки стиля вождения включает следующие основные этапы:

- 1) определение ситуации, в которой находится водитель с применением карты местности и измерения координат автомобиля с применением спутниковой навигации;
- 2) задание верхней и нижней границ изменения оцениваемых параметров. Рассмотрим этот этап на примере оценки скорости движения: верхняя граница скорости может быть задана как измеренная ранее скорость движения автомобилей экстренных служб, а нижняя граница – как скорость движения учебного автомобиля, следующего с инструктором, и обучающиеся;
- 3) измерение текущих значений параметров;
- 4) сравнение текущих значений параметров с верхней и нижней границами допустимых измерений и расчет отклонения;

5) оценка стиля вождения по результатам взвешенного суммирования входящих в оценку параметров.

Предложенные идеи могут быть использованы в задачах оценки состояния водителя [1]. Идеи, предложенные в работе [2], могут быть применены для защиты системы оценки. Передача полученных оценок может быть осуществлена с применением кодирования, описанного в работе [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Катасев, А.С., Катасева, Д.В., Сибгатуллин, А.А.* Нейросетевая модель оценки функционального состояния водителей в системах транспортной безопасности // *Электроника, фотоника и киберфизические системы.* – 2023. – Т. 3. – № 1. – С. 69-80.

2. *Клюев, Д.С., Смушкин, А.Б., Соколова, Ю.В., Платонов, С.Е.* Анализ возможностей искусственного интеллекта для расследования мошенничества // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы.* – 2023. – Т. 26. – № 3. – С.116-122.

3. *Веденькин, Д.А., Епов, А.Э.* Система кодирования сообщений на основе генератора с динамической обратной связью // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы.* – 2018. – № 1(37). – С. 22-32.

CAR DRIVING STYLE ASSESSMENT. PART 2. METHOD OF ANALYSIS

Vedenkin D.A, Kuryanova E.A., Lifareva D.D., Gilphanova A.F.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

The report discusses the methodology for assessing the driving style of a car. The stages of conducting an assessment are discussed

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РАДИОВИДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СФОКУСИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Колесникова А.В., Веденькин Д.А.

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

В настоящее время системы радиовидения имеют множество перспективных предложений, однако сталкиваются с некоторыми сложностями технической реализации. Один из вариантов развития системы радиовидения связан с применением сфокусированных антенных решеток. Возможность пространственной трехмерной фокусировки позволяет концентрировать электромагнитное излучение на отдельных элементах объекта, тем самым анализируя по уровню отраженного сигнала пространственную структуру наблюдаемой цели. При этом размер элементарной области наблюдения зависит от длины волны и расстояния до наблюдаемого объекта. В качестве примера рассмотрена разреженная плоская сфокусированная решетка, состоящая из 20 излучателей, расположенных в пределах окружности радиусом 2 км. Типовая структура разреженной сфокусированной антенной решетки и сфокусированного электромагнитного поля в плоскости поперечной распространению сигнала, представлена на рис. 1.

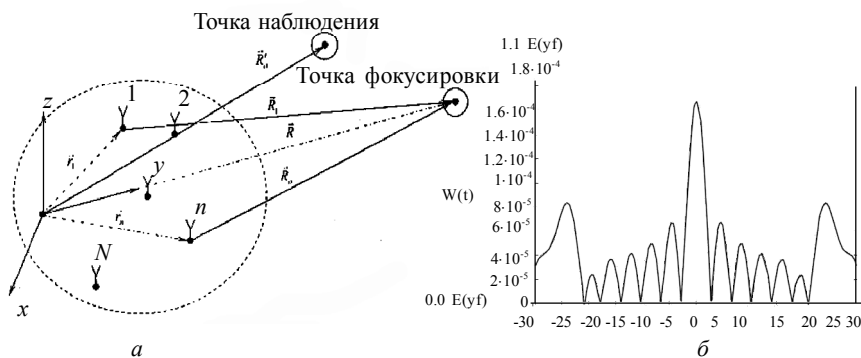


Рис. 1. Геометрия антенной решетки (а)
и график напряженности электромагнитного поля (б)

Последовательное сканирование объекта с анализом уровня отраженного сигнала от каждого элементарного участка его поверхности формирует радиообраз, который может быть сравнен с некоторым эталонным сигналом, в том числе с применением принципов нечеткой логики.

Одновременно может быть осуществлено наблюдение и за несколькими объектами с применением принципов, изложенных в работе [1]. Более подробно со сфокусированными апертурами можно познакомиться в работах [2, 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веденькин, Д.А.* Мультифокусированные антенные решетки с формирующими излучениями, полученными по методу Ильина-Морозова // *Электроника, фотоника и киберфизические системы*. – 2021. – Т. 1. – № 2. – С. 23-27.

2. *Веденькин, Д.А., Седельников, Ю.Е.* Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы*. – 2015. – Т. 18. – № 3. – С. 23-30.

3. *Веденькин, Д.А., Седельников, Ю.Е., Насыбуллин, А.Р.* Фокусировка электромагнитного излучения в диссипативной среде // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2017. – № 3(35). – С 61-68.

DEVELOPMENT OF RADIO VISION SYSTEM USING FOCUSED ANTENNA ARRAYS

Kolesnikova A.V., Vedenkin D.A.

*(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

Issues related to use focused apertures in radio vision problems are considered.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

<i>Анисимова И.В., Игнатов А.А., Фаст Я.А.</i> Схема повышенного порядка аппроксимации для численного решения гемодинамической модели	6
<i>Безлюдников К.О., Альшеев Ю.В.</i> Детерминированная гетерогенная экспериментальная модель влажной почвы	8
<i>Жуков С.В., Топоркова Л.В.</i> Рефрактометр на основе интерферометра Маха – Цендера	10
<i>Жуков С.В., Топоркова Л.В.</i> Влияние энергии электронов на резонансный туннельный эффект	12
<i>Жуков С.В., Топоркова Л.В.</i> Интеллектуальные системы прогнозирования влажности почвы на основе анализа данных дистанционного зондирования	14
<i>Кузнецов Я.М., Осипов О.В., Панин Д.Н.</i> Дисперсионные зависимости диэлектрической проницаемости и параметра киральности для произвольного проводящего элемента зеркально асимметричной формы	16
<i>Бородина И.И., Яцышен В.В.</i> Оптическая диагностика тонких полупроводниковых пленок с использованием поверхностных плазмонов на границе золото-воздух по схеме ОТТО	18
<i>Мачихин В.А., Никольская Ю.В., Антипова Т.А., Захаров А.В., Кисляев А.С., Пичугина П.Г., Морева Д.Д., Поляков В.А.</i> К сравнению скорости и точности фрактальных методов детерминированного хаоса распознавания стадий сна сомнографическим устройством	20

<i>Слободянюк И.Л., Кисляев А.С., Мачихин В.А., Пичугина П.Г., Никольская Ю.В., Антипова Т.А., Кисляев С.Е., Захаров А.В.</i> Магнитобиологический эксперимент в нормировании предельно допустимых доз хронического воздействия постоянного магнитного поля	23
<i>Астафьев А.Г., Валиев И.Р., Самигуллин Р.Р.</i> Моделирование воздействия АМ-модуляции на материальную среду в резонаторной системе обработки	26
<i>Красных В.В., Орлов Н.И., Самигуллин Р.Р.</i> Моделирование воздействия ЧМ-модуляции на материальную среду в резонаторной системе обработки	28
<i>Жуков В.Е., Самигуллин Р.Р.</i> Разработка средств лабораторного СВЧ-комплекса обработки материальных сред	30
<i>Лапич А.О., Медведик М.Ю.</i> Задача восстановления характеристик неоднородного диэлектрического тела по результатам измерения электромагнитного поля	32
<i>Лапич А.О., Медведик М.Ю.</i> Задача дифракции электромагнитной волны на диэлектрическом теле с нелинейностью в прямоугольном волноводе	35
<i>Смирнов Ю.Г., Москалева М.А., Снегур М.О.</i> Система интегральных уравнений в задаче о распространении электромагнитных волн в диэлектрическом стержне, покрытом графеном	38
<i>Кондырев О.В., Мартынова В.Ю., Тихов С.В.</i> Распространение электромагнитных монохроматических связанных ТЕ-ТЕ-волн в плоском нелинейном волноводе, заполненном метаматериалом	41
<i>Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А.</i> Процесс пространственной мультифокусировки в зоне ближнего излученного поля	43
<i>Гильфанова А.Ф., Веденькин Д.А.</i> Сфокусированные антенны в зоне ближнего излученного поля и их приложения	45

<i>Гильфанова А.Ф., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д.</i> Фазированные антенные решетки в задачах радиолокации	47
<i>Гильфанова А.Ф., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д.</i> Некогерентные антенны, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля	49

Секция 2. МЕТА- И НАНОСТРУКТУРЫ

<i>Осипов О.В.</i> Использование гомогенной модели кирального метаматериала для решения задачи дифракции основной волны на вставке в прямоугольном волноводе	52
<i>Осипов О.В.</i> Исследование кирального метаматериала на основе полосковых χ -элементов	55
<i>Аштаева А.В., Осипов О.В.</i> Гомогенная математическая модель кирального метаматериала на основе двойных разомкнутых колец	57
<i>Аштаева А.В., Осипов О.В.</i> Гомогенная математическая модель кирального метаматериала на основе полосковых S -элементов	60
<i>Саидов У.Х.</i> Подбор конструкции радиаторов мощных светодиодных светильников	62
<i>Кузнецов А.Е., Рахимова А.Р.</i> Мощные и маломощные светодиодные модули, их конструкции и принцип работы	64
<i>Налимов А.Г., Котляр В.В.</i> Детектирование дробных топологических зарядов с помощью металинзы	66

Секция 3. ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

<i>Полянский И.С., Касибин С.В.</i> Обнаружение беспилотного летательного аппарата по акустическому излучению	70
<i>Мирханова А.Н., Комар К.О., Идиатуллов З.Р.</i> Передача и обработка информации в радиотехнических системах: современные тенденции и технологии	72

<i>Шарифуллин Т.Б., Афанасьев В.В.</i> Формирование псевдо-случайных сигналов с варьируемыми пик-факторами на основе многолепестковой дискретно-нелинейной TSUCS	74
<i>Дорохов С.П., Прахов А.С., Салов А.С.</i> Система радиочастотной идентификации и мониторинга состояния объектов контроля	76
<i>Костин А.В.</i> Анализ теплового влияния параллельных печатных проводников плат, установленных на металлическое основание и работающих в условиях космического вакуума	79
<i>Шнейдмиллер В.Р., Мелешенко Д.Ю., Пиганов М.Н.</i> Модернизация блока предварительной обработки сигналов	82
<i>Денисюк А.А., Шестаков Д.А., Бандяева Е.В.</i> Методика расчета бортового блока управления	85
<i>Артюшенко В.М., Воловач В.И.</i> Корреляционные функции помеховой модуляции под влиянием стационарных флуктуационных мультипликативных помех	88
<i>Артюшенко В.М., Воловач В.И.</i> Корреляционные функции помеховой модуляции под влиянием медленных мультипликативных помех	90
<i>Жукова Д.Н., Зарипов Р.Ф.</i> Учебный лабораторный имитационный стенд исследования спектра сложного сигнала в гауссовских каналах, разработанный в среде GNU OCTAVE (MATLAB)	92
<i>Чугунов А.А., Зарипов Р.Ф.</i> Дополнение к учебному лабораторному имитационному стенду, разработанное в среде GNU OCTAVE, для исследования спектра сложного сигнала с фазовыми искажениями с последующей фильтрацией с помощью БИХ-фильтра	95

Секция 4. УСТРОЙСТВА СВЧ, АНТЕННЫ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ

<i>Полянский И.С., Кетух Д.К.</i> Численное решение задачи дифракции на бесконечно тонком идеально проводящем диске	100
<i>Разиньков С.Н., Разинькова О.Э.</i> Модель прогноза электромагнитной доступности источников радиоизлучений в ионосферном канале	103

<i>Браже Р.А., Лебедев Е.Ю.</i> Влияние материала подложки и ее толщины на диаграмму направленности и резонансные частоты графеновой ПАТЧ-наноантенны терагерцевого диапазона	105
<i>Гутерман Н.Е., Токарев П.А.</i> Методика нахождения оптимальных параметров диаграммы направленности элемента плоской антенной решетки	108
<i>Чесноков А.А.</i> Управляющее программное обеспечение для резонаторов СВЧ	110
<i>Нигматуллин Р.Р.</i> Моделирование СВЧ-элемента для анализа диэлектрической проницаемости порошкового материала	112
<i>Алашеева Е.А.</i> О выборе эффективного математического аппарата для расчета характеристик параболической антенны	114
<i>Алашеева Е.А., Рогова Н.В.</i> О выборе эффективного математического аппарата для расчета характеристик тонкопроволочной антенны	116
<i>Гайнулина Е.Ю., Корнев Н.С., Назаров А.В., Репин А.В., Трегубенко Д.А.</i> Технический облик радиоинтерферометра субмиллиметрового диапазона длин волн	118
<i>Чуйкова Н.А.</i> Приближенные граничные условия для тонкого кирального слоя с координатной формой поверхности, конформно расположенного вокруг объема сверхпроводника	120
<i>Тихонов Ю.С., Мирошниченко А.Ю., Исаев А.Д.</i> Разработка учебно-лабораторной работы по исследованию пассивных СВЧ-устройств на основе SIW-технологии	122
<i>Аль-Нозайли Б.М.А., Табаков Д.П.</i> Оценка сходимости решения внутренней электродинамической задачи для панельной антенны с прово-лочным рефлектором	125
<i>Табаков Д.П., Майоров А.Г.</i> Цилиндрическая спиральная структура и собственные функции интегрального оператора	127
<i>Константинов Р.Р.</i> Моделирование брэгговской структуры с нерегулярным земляным проводником с сосредоточенными элементами	129

<i>Рахматулин М.В., Емелин И.А., Тихонов Ю.С.</i> Снижение аварийных отказов ЛБВ миллиметрового диапазона в процессе производства, повышение их надежности	131
<i>Бирюков В.В., Вакс В.Л., Капустин С.А., Малахов В.А., Панин А.Н., Приползин С.И., Раевская Ю.В., Раевский А.С., Щербаков В.В.</i> Беспроводная линия связи субтерагерцевого диапазона	134
<i>Бирюков В.В., Воробьев И.А., Малахов В.А., Раевский А.С., Щербаков В.В.</i> Моделирование и расчет антенны каскадированной на 118 ГГц	136
<i>Капустин С.А., Раевский А.С., Вдовин В.Ф., Гунбина А.А., Тарасов М.А., Кукушкин Д.Е.</i> Дизайн рупора для сопряжения охлаждаемой приемной матрицы диапазона 90 ГГц с оптической системой пучка оптического телескопа БТА	138
<i>Морозов С.В., Жабин Е.А., Баринов К.С.</i> Применение метода трехмерной миниатюризации к антенне Вивальди	140
<i>Симагов Н.А., Мерзляков Н.Р., Каминский Р.В.</i> Применение метода параметрического свипирования на примере конической рупорной антенны	142
<i>Саласенко З.Ю.</i> Расчет поглощающего элемента оконечной нагрузки, выполненной на базе коаксиального волновода	144
<i>Авксентьев А.А.</i> Стенды с антеннами летательных аппаратов	146
<i>Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Волишаник М.А.</i> Управление резонансами в структуре «свч фотонный кристалл-полярная жидкость»	148
<i>Скрипаль А.В., Латышева Е.В.</i> Контроль параметров полупроводниковых пластин с помощью свч фотонного кристалла	150
<i>Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Шаронов В.Е.</i> Брэгговские структуры СВЧ-диапазона с проводящим нанослоем	152
<i>Комар К.О., Мирханова А.Н., Идиатуллоев З.Р.</i> Применение искусственного интеллекта для проектирования и оптимизации устройств СВЧ	154

<i>Бузова М.А., Шляхов А.В.</i> Обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств с помощью использования электромагнитных экранов из метаматериала	156
<i>Нарышкин И.М.</i> Вопросы моделирования антенных систем, расположенных на уникальных объектах	158
<i>Минкин М.А., Обишников А.И.</i> Возможности реализации комбинированной пространственной адаптации на основе использования кольцевых и спирально-кольцевых антенных решеток	160
<i>Бондарь П.И., Бузов А.Л., Карлов Ал.В.</i> Антенный комплекс с автоматизированной поляризационной адаптацией для УКВ радиосвязи	162
<i>Клюев Д.С., Нещерет А.М., Хажинов В.В.</i> Оценка эффективности излучения конформных структур с киральным заполнением	165
<i>Клюев Д.С., Кривобоков Е.Э., Половинкин А.И., Соколова Ю.В., Сушко И.В., Федоров Д.С.</i> Внутренняя электродинамическая задача конформного цилиндрического микрополоскового рамочного излучателя	167
<i>Клюев Д.С., Кривобоков Е.Э., Половинкин А.И., Соколова Ю.В., Сушко И.В., Федоров Д.С.</i> Внутренняя электродинамическая задача конформного цилиндрического микрополоскового вибраторного излучателя	169
<i>Клюев Д.С., Нещерет А.М., Половинкин А.И., Соколова Ю.В., Сушко И.В., Федоров Д.С.</i> Матрица поверхностных импедансов полоскового излучателя, расположенного на цилиндре из кирального метаматериала	171
<i>Мезенцева Е.А. Веденькин Д.А.</i> Разработка упрощенной модели реальной антенны на начальных этапах проектирования	173
<i>Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А., Шайхутдинов Р.Р.</i> Оценка диаграммы направленности рупорной антенны и вариант ее сужения	175

<i>Усков Г.К., Нескородов С.Е., Кондратьев Д.П., Болгов А.Ю.</i> Сравнительный анализ резонансных частот линейных фрактальных излучателей	178
<i>Мяжкова Ю.С.</i> Исследование технологии изготовления многослойных керамических LTCC-плат с торцевой металлизацией	180
<i>Гудина Т.Л., Светлаков Ю.А.</i> Технология лазерной обработки отверстий в подложках из керамического материала В20 для СВЧ-микроплат	182
<i>Самохин Р.А., Ишкаев Т.М., Насыбуллин А.Р., Вальяров М.Э.</i> Моделирование СВЧ-датчика для оперативного контроля влажности табачных изделий	184
<i>Ишкаев Т.М., Калимуллин И.А., Фархутдинов Р.В., Вальяров М.Э.</i> Объемные полосковые СВЧ-структуры в качестве преобразовательного элемента диэлектрического контроля твердых диэлектриков	186
<i>Артемьев В.И., Силантьева А.А., Смирнов С.В., Смирнов Н.Д., Пушков Р.А.</i> Неинвазивные методы контроля уровня глюкозы в крови	188
<i>Артемьев В.И., Силантьева А.А., Смирнов Н.Д., Смирнов С.В., Пушков Р.А.</i> Математический расчет кольцевого резонаторного датчика для контроля уровня глюкозы в крови человека	190
<i>Елфимов А.Е., Величина А.С., Усков Г.К., Бобрешов А.М.</i> Перестраиваемый генератор СКИ с низким уровнем звона	192
<i>Солдатов А.А.</i> Поляризационные характеристики излучателя на основе гиромагнитного излучателя	194
<i>Солдатов А.А., Филимонова Л.Н.</i> Лабораторный метод измерения диаметра тонких образцов	196
<i>Гусев А.В., Ишкаев Т.М., Насыбуллин А.Р., Вальяров М.Э.</i> Моделирование датчика на основе микрополоскового резонатора прямоугольной формы	198
<i>Бобрешов А.М., Калошин В.А., Смусева К.В., Усков Г.К.</i> Применение линзы Микаэляна для улучшения направленных свойств биконической антенны	200

<i>Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А., Шагвалиев Р.М.</i> Антенные решетки в средствах радиопротиводействия БПЛА	203
<i>Лаврушев В.Н., Авксентьев А.А., Низамиев Р.Р.</i> Измерение комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне СВЧ ...	205
<i>Заярный В.П., Пономарев И.Н.</i> Теоретическое и экспериментальное исследование излучательных свойств щелевой линии на идеальной полуплоскости	207

Секция 5. ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ СВЯЗИ И РАДИОФОТОНИКА

<i>Бударагин Р.В., Радионов А.А., Саласенко З.Ю.</i> Разработка оптического фильтра на основе каскадных ДПВР	210
--	-----

Секция 6. УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

<i>Комар К.О., Мирханова А.Н., Идиатуллов З.Р.</i> Устройства и системы электропитания: обзор, сравнение и выбор оптимальных решений для различных отраслей	214
<i>Дыганов А.В., Идиатуллов З.Р.</i> Исследование современных технологий и материалов в устройствах электропитания	217
<i>Воронцов Д.А.</i> Моделирование работы сети микрогрид, состоящей из двух инверторов, в условиях изменяющейся нагрузки	219
<i>Дмитриков В.Ф., Шушпанов Д.В.</i> Использование емкостно-связанных цепей для объяснения различных емкостей дросселя	222
<i>Дмитриков В.Ф., Шушпанов Д.В.</i> Схема замещения дросселя с любыми типами сердечника и обмотки	224
<i>Жукова Д.Н., Морозов М.В.</i> Углевойлочные каркасы в качестве электродной токопроводящей основы	226
<i>Андрьянов А.И.</i> Обеспечение желаемого динамического режима импульсных преобразователей постоянного напряжения с двухконтурными системами управления	228

Секция 7. ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Сычев А.С., Ивукова Н.К.</i> Организация децентрализованных информационных систем в микрогрид	232
<i>Веденькин Д.А., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д., Гильфанова А.Ф.</i> Оценка стиля вождения автомобиля. Часть 1. Сбор данных	235
<i>Веденькин Д.А., Курьянова Е.А., Лифарева Д.Д., Гильфанова А.Ф.</i> Оценка стиля вождения автомобиля. Часть 2. Методика оценки	237
<i>Колесникова А.В., Веденькин Д.А.</i> Разработка системы радиовидения с использованием сфокусированных антенных решеток	239

ДЛЯ ЗАМЕТОК

VI НАУЧНЫЙ ФОРУМ
«ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ»
ТТТ-2023

XX Международная научно-техническая конференция
«ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ»
ФиТПВП-2023

ТОМ 3

22 – 24 ноября 2023 г., Казань

*Статьи подготовлены к печати с оригиналов, представленных авторами.
Издатель не несет ответственности за содержание статей*

Ответственный секретарь оргкомитета – Д.А. Веденькин
Ответственный за выпуск – Н.И. Данич
Компьютерная верстка и дизайн обложки – Н.Н. Семёнова

Подписано в печать 14.11.23.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 14,65. Тираж 40 экз. Заказ В 49.

Издательство КНИТУ-КАИ
420111, Казань, К. Маркса, 10

ISBN 978-5-7579-2690-2 (Т.3)

