

**V НАУЧНЫЙ ФОРУМ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ:
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ТТТ-2021**

**XIX Международная научно-
техническая конференция
ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ
ПРИЛОЖЕНИЯ ВОЛНОВЫХ
ПРОЦЕССОВ-2021**

23 - 26 ноября 2021 г., Самара

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»
ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им.
А.Н. Туполева-КАИ»
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный
технический университет»
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева»
Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седякина»
ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет»
им. Н.Г. Чернышевского
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»
АО «НПО ГОИ им С.И. Вавилова»

**V НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ:
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ТТТ-2021**

**ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ – 2021**



23 – 26 ноября 2021 г.

**Самара
2021**

УДК 621.391

ББК 32.811

Н 34

**Н 34 V НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ:
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2021. «Физика и технические
приложения волновых процессов ФиТПВП-2021»:** Материалы
XIX Международной научно-технической конференции. (г. Самара,
23 – 26 ноября 2021 года), 2021. – 297 с.

ISBN 978-5-907336-25-4

Представленные материалы докладов охватывают широкий спектр научных направлений и их использование будет способствовать развитию антенных теорий, микроволновых технологий и систем различного назначения и радиофотоники в Российской Федерации, Поволжского региона и Республики Татарстан, вузовской науки, расширения связей между ведущими отечественными и зарубежными образовательными, научными и производственными центрами.

УДК 621.391

ББК 32.811

ISBN 978-5-907336-25-4

© Коллектив авторов, 2021

© ПГУТИ,
оформление, 2021



XIX Международная научно-техническая конференция
«Физика и технические приложения волновых
процессов» ФитПВП-2021
23 – 26 ноября 2021 г., Самара, ПГУТИ

Программный комитет конференции ФитПВП-2021

Сопредседатели

- | | |
|---------------|-------------------|
| - Клюев Д.С. | ПГУТИ, Самара, РФ |
| - Осипов О.В. | ПГУТИ, Самара, РФ |

Члены комитета

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| - Бобрешов А.М. | ВГУ, Воронеж, РФ |
| - Вороной А.А. | ПГУТИ, Самара, РФ |
| - Бузов А.Л. | АО «СИП РС», Самара, РФ |
| - Бурдин В.А. | ПГУТИ, Самара, РФ |
| - Веденькин Д.А. | КНИТУ-КАИ, Казань, РФ |
| - Даровских С.Н. | ЮУрГУ, Челябинск, РФ |
| - Воловач В.И. | ПВГУС, Тольятти, РФ |
| - Дементьев А.Н. | ФГУП НПО «Техномаш», Москва РФ |
| - Дмитриков В.Ф. | СПб ГУТ, Санкт-Петербург, РФ |
| - Ильинский А.С. | МГУ, Москва, РФ |
| - Карташевский В.Г. | ПГУТИ, Самара, РФ |
| - Кудряшов А.А. | ПГУТИ, Самара, РФ |
| - Мишин Д.В. | ПГУТИ, Самара, РФ |
| - Морозов Г.А. | КНИТУ-КАИ, Казань, РФ |
| - Морозов О.Г. | КНИТУ-КАИ, Казань, РФ |
| - Нещерет А.М. | АО «СИП РС», Самара, РФ |
| - Никитов С.А. | ИРЭ РАН, Москва, РФ |
| - Онищук А.Г. | ВА РБ, Минск, РБ |
| - Полянский И.С. | Академия ФСО, Орел, РФ |
| - Потапов А.А. | ИРЭ РАН, Москва, РФ |
| - Просвирнин С.Л. | РИ НАНУ, Харьков, Украина |
| - Раевский А.С. | НГТУ, Нижний Новгород, РФ |
| - Смирнов Ю.Г. | ПГУ, Пенза, РФ |
| - Соколова Ю.В. | ПГУТИ, Самара, РФ |
| - Усков Г.К. | ВГУ, Воронеж, РФ |
| - Чернокожин Е.В. | ТАУ, Тель-Авив, Израиль |

Ученый секретарь:

- | | |
|--------------|-------------------|
| Морозов С.В. | ПГУТИ, Самара, РФ |
|--------------|-------------------|

Секции конференции ФиТПВП

1. Общая теория волновых процессов.

Сопредседатели: Ключев Д.С., Осипов О.В.

2. Мета- и наноструктуры.

Сопредседатели: Ключев Д.С., Осипов О.В.

3. Передача и обработка информации в радиотехнических системах.

Сопредседатели: Ключев Д.С., Вороной А.А.

4. Устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов и их приложения.

Сопредседатели: Ключев Д.С., Осипов О.В.

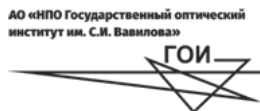
5. Инновационные системы.

Сопредседатели: Ключев Д.С., Кудряшов А. А.

6. Электропитание.

Сопредседатели: Ключев Д.С., Вороной А.А.

Организаторы конференции



СЕКЦИЯ 1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.373.826

**ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЛНОВОДАХ С КЕРРОВСКОЙ И
ТЕПЛОВОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ ПРИ БОЛЬШИХ
КОЭФФИЦИЕНТАХ ОТРАЖЕНИЯ**

Ивахник В. В., Капизов Д. Р., Никонов В. И.

*(ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева»)*

Интерес к четырехволновому взаимодействию в волноводах обусловлен возможностью реализации в них больших эффективностей преобразования (коэффициентов отражения) за счет увеличения области нелинейного взаимодействия без существенного изменения интенсивностей взаимодействующих волн.

В настоящей работе анализируется вид функции размытия точки четырехволнового преобразователя излучения в многомодовом волноводе с керровской и тепловой нелинейностями с учетом перекачки энергии из объектной волны в сигнальную и наоборот.

Для волновода с керровской нелинейностью в случае одномодовых волн накачки с равными номерами мод показано наличие точек «генерации» и найдены условия на параметры волновода, характеристики взаимодействующих волн, при которых условия «генерации» реализуются. Вблизи первой точки «генерации» вид функции размытия точки определяет мода волновода, номер которой совпадает с номером моды волн накачки. Для четырехволнового преобразователя излучения в волноводе с бесконечно проводящими поверхностями качество обращения волнового фронта вблизи второй точки «генерации» совпадает с качеством обращения волнового фронта при малом коэффициенте отражения. Для четырехволнового преобразователя излучения в параболическом волноводе вблизи второй и следующих точек

«генерации» вид функции размытия точки определяет одна из мод волновода.

Как и для четырехволнового преобразователя излучения в многомодовом волноводе на керровской нелинейности при использовании волновода с тепловой нелинейностью, существуют точки «генерации», вблизи которых коэффициент отражения r -ой моды объектной волны резко возрастает. Вблизи r -ой точки «генерации» четырехволновой преобразователь излучения выступает как пространственный фильтр мод волновода, независимо от пространственной структуры сигнальной волны генерирует объектную волну, пространственная структура которой полностью определяется r -ой модой волновода. Таким образом, обращение волнового фронта падающей на четырехволновой преобразователь излучения сигнальной волны вблизи точек «генерации» не происходит.

FOUR-WAVE RADIATION CONVERTER IN WAVEGUIDES WITH KERR AND THERMAL NONLINEARITIES AT LARGE REFLECTION COEFFICIENTS

Ivakhnik V. V., Kapizov D. R., Nikonov V. I.

(“Samara National Research University”)

The influence of the pump wave intensity on the quality of radiation conversion in waveguides with infinitely conducting surfaces with Kerr and Thermal nonlinearity at large reflection coefficients is analyzed. The conditions for the points of "generation" are found.

УДК 517.958; 517.957; 621.372.8

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕ-ВОЛН В ОТКРЫТОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ, ЗАПОЛНЕННОМ НЕЛИНЕЙНОЙ НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДОЙ

Мартынова В. Ю.

(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»)

В данной работе исследуется распространение ТЕ-волны $(\mathbf{E}, \mathbf{H})e^{-i\omega t}$, в цилиндрическом волноводе, расположенном в цилиндрической системе координат $O\rho\varphi z$ $\Sigma = \{(\rho, \varphi, z) : r_1 \leq \rho \leq r_2, 0 \leq \varphi \leq 2\pi, z \in \mathbb{R}\}$. Здесь $\omega > 0$ – круговая частота, $\mathbf{E} = (0, E_\varphi(\rho), 0)e^{i\gamma z}$, $\mathbf{H} = (H_\rho(\rho), 0, H_z(\rho))e^{i\gamma z}$ и γ – спектральный параметр (постоянная распространения волны). Относительная диэлектрическая проницаемость имеет вид

$$\varepsilon = \begin{cases} \varepsilon_1, & \rho > r_2, \\ \varepsilon_2(\rho) + \alpha |\mathbf{E}|^2, & r_1 \leq \rho \leq r_2, \\ \varepsilon_3, & 0 \leq \rho < r_1, \end{cases} \quad (1)$$

где $\varepsilon_2 \geq \varepsilon_1 > 1$, $\alpha > 0$ – некоторые постоянные, $\varepsilon_2(\rho) \in C^1[r_1, r_2]$ – вещественная функция, непрерывная и монотонно возрастающая при $\rho \in [r_1, r_2]$. Считаем, что $\min_{\rho \in [r_1, r_2]} \varepsilon_2(\rho) > \varepsilon_3$.

$\mathbf{E}, \mathbf{H}$ удовлетворяют уравнениям Максвелла $\text{rot } \mathbf{H} = -i\omega \varepsilon_0 \varepsilon \mathbf{E}$, $\text{rot } \mathbf{E} = i\omega \mu_0 \mathbf{H}$, где $\varepsilon_0 > 0$ – диэлектрическая проницаемость вакуума, $\mu_0 > 0$ – магнитная проницаемость вакуума, условиям непрерывности на границах раздела сред $[E_\varphi(\rho)]|_{\rho=r_1} = 0$, $[E_\varphi(\rho)]|_{\rho=r_2} = 0$, $[H_z(\rho)]|_{\rho=r_1} = 0$, $[H_z(\rho)]|_{\rho=r_2} = 0$, где $[f]|_{x=x_0} = \lim_{x \rightarrow x_0+0} f(x) - \lim_{x \rightarrow x_0-0} f(x)$, условию излучения: электромагнитное поле затухает как $O(\rho^{-1})$ при $\rho \rightarrow \infty$.

Исходная задача о распространении ТЕ-волн в неоднородном нелинейном волноводе сводится к нелинейной задаче на собственные значения. Новизна данной задачи связана с неоднородностью коэффициентов, входящих в рассматриваемое уравнение. Используя [1, 2] выводится такое уравнение для данной задачи и устанавливается спектральная эквивалентность этого уравнения изучаемой задаче. Несмотря на то, что интегральное характеристическое уравнение содержит неизвестное решение вспомогательной задачи Коши, при определенных условиях удастся исследовать разрешимость данного уравнения, а, следовательно, и задачи на собственные значения.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-71-10015.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валовик Д. В., Смирнов Ю. Г. Распространение электромагнитных волн в нелинейных слоистых средах: монография. Пенза: ПГУ, 2010. 264 с.
2. Валовик Д.В. Распространение электромагнитных волн в открытом плоском диэлектрическом волноводе, заполненном нелинейной средой I: ТЕ-волны // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2019. №5 (59). С. 838–858.

PROPAGATION OF TE WAVES IN AN OPEN CYLINDRICAL WAVEGUIDE FILLED WITH A NONLINEAR INHOMOGENEOUS MEDIUM

Martynova V. Yu.

("Penza State University")

The report is focused on the problem of TE-wave propagation in an open cylindrical nonlinear inhomogeneous waveguide. The physical problem is reduced to a transmission eigenvalue problem for an ordinary differential equation. To study the solvability of the problem, the integral characteristic equation method is used.

УДК 530.191

АНАЛИЗ ВРЕМЕННОГО РЯДА, ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ ЭЭГ ИСПЫТУЕМОГО МЕТОДАМИ ТЕОРИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА

Мачихин В. А.¹, Антипова Т. А.²

*(¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики», ²ФГБОУ ВО
«Самарский государственный медицинский университет»)*

Для анализа был проведен эксперимент. Человека поместили в экранированную комнату для экспериментов, соединяли с ЭЭГ-регистратором. Отображали ему очередь значимых для человека сообщений-стимулов, в формате звуковых сигналов. В добытых сигналах выбрали 2 канала для обработки, несущие в себе слуховую информацию человека. Электроэнцефалограммы брались как временные ряды с частотой дискретизации 200 Гц. [1] Предлагался метод анализа ЭЭГ на основе детерминированного хаоса. Показателей Ляпунова выражают скорость расхождения траекторий фазы фазового аттрактора. [1] Совокупная система несет константный объем информации, от того что показатель Ляпунова не принимает отрицательные значения. [1] Совокупность показателей Ляпунова для 32 временных отрезков:

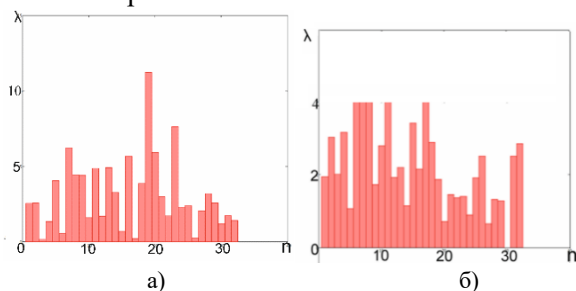


Рис.1. Спектр показателей Ляпунова для 32 временных лагов. Канал С3(а) и канал С4 (б)

Предлагалась система R/S обработки и индексов Херста. Областью R/S-анализа в направлении исследований фракталов и упорядоченного хаоса, состоит метод нормированного размаха Херста. Его можно рассматривать как степень хаотичности системы и о присутствии самоподобного характера рассматриваемого сигнала в частности. [1] Так если индекс Херста $H < 0.5$, наблюдаемый ряд идентифицируется устойчивым. Это показывает, что недавние события в рассматриваемой системе влияют на будущее поведение обзорной системы, чем события лежащие еще ниже по временной шкале. Если $H > 0.5$, временной ряд персистентен и принадлежит к самоподобной природе. Показатель Херста менялся от 0,5865 до $\approx 0,94$ [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачихин В.А. Автоматизированное программируемое устройство для стимуляции испытуемого в целях выделения когнитивной реакции головного мозга и фрактальный анализ полученных данных ЭЭГ: дис. ... канд. тех. наук: 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. Самара, 2019. 196 с.

ANALYSIS OF THE TIME SERIES OBTAINED FROM THE EEG OF THE SUBJECT BY METHODS OF THE THEORY OF DETERMINISTIC CHAOS

Machikhin V. A.¹, Antipova T.A.²

(¹ "Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics", ² "Samara State Medical University")

The article describes the results of the analysis of the time series obtained from the EEG of the subject by the methods of the theory of deterministic chaos.

УДК 530.191

АНАЛИЗ ВРЕМЕННОГО РЯДА, ПОЛУЧАЕМОГО ИЗ ЭЭГ ИСПЫТУЕМОГО МЕТОДАМИ ТЕОРИИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Мачихин В. А.¹, Антипова Т. А.²

*(¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики», ²ФГБОУ ВО
«Самарский государственный медицинский университет»)*

Для анализа был проведен эксперимент. Субъекта располагали в западногерманской комнате, исследовали активность головного мозга (по ЭЭГ). Стимулировали субъекта звуковой сигнализацией. Выбрали 2 канала для обработки данных, включающих в себя ЭЭГ слуховой информации человека. Данные распознавались как временные последовательности с частотой дискретизации 200 Гц. [1] Высчитывались значения корреляционной размерности, автокорреляционной функции, средней взаимной информации. Корреляционная размерность рассчитывает минимальное количество размерностей пространства, в котором размещаются траектории аттрактора фазовой системы. Тут отображаются функции корреляционной размерности каналов С3 и С4:

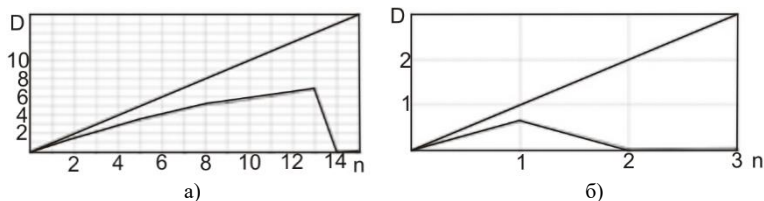


Рис. 1. 0-511 отсчет. Корреляционная размерность. Каналы С3(а) и С4(б)

Корреляционная размерность имеет максимумы при определенных значениях - это отражает наличие в ряду хаотической составляющей. Также рассмотрев графики корреляционных диапазонов, можно заключить, что с ростом числа лагов,

корреляционный диапазон не меняется для каждого канала. Чем выше переменная D , тем меньше степень упорядоченности системы ($D=6$ для $C3$ и $D=0,7$ для $C4$). По зависимостям корреляционных диапазонов можно заключить, что на канале $C4$ степень организации системы выше относительно канала $C3$.

Автокорреляционная функция рассматривает корреляцию совместных показателей рассматриваемого ряда, но с переменным временем. Она дает заключение о нестационарности временной последовательности ЭЭГ на рассматриваемых отрезках с коротколатентными когнитивными слуховыми волнами P300. Ее значения с были периодическими для отрезков $\approx 60-70$ временных отсчетов при длине записи до 515 отсчетов с отрицательными корреляциями до 0,2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мачихин В.А. Автоматизированное программируемое устройство для стимуляции испытуемого в целях выделения когнитивной реакции головного мозга и фрактальный анализ полученных данных ЭЭГ: дис. ... канд. тех. наук: 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения. Самара, 2019. 196 с.

ANALYSIS OF THE TIME SERIES OBTAINED FROM THE EEG OF THE SUBJECT BY METHODS OF THE THEORY OF SPECTRAL ANALYSIS.

Machikhin V. A.¹, Antipova T.A.²

(¹ "Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics", ² "Samara State Medical University")

The article describes the results of the analysis of the time series obtained from the eeg of the subject by the methods of the theory of spectral analysis.

УДК 530.191, 517.518.45:620.179.1(075.8)

ИЗУЧЕНИЕ КОГНИТИВНЫХ ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ (ФРАКТАЛЬНЫЙ И ВЕЙВЛЕТ АНАЛИЗ)

***Мачихин В. А.¹, Пичугина П. Г.², Никольская Ю. В.³,
Антипова Т. А.⁴, Поляков В. А.⁴, Табаков Д. П.¹***

*(¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики», ²ФГБОУ ВО
«Пензенский государственный университет»,
³ДСШ «Икар», ⁴ФГБОУ ВО «Самарский государственный
медицинский университет»)*

Изучение особенностей восприятия времени практически здоровых людей и факторов, влияющих на него, могло бы помочь при составлении тестов на профессиональную пригодность. В ряде подобных исследований рассматривался подход, основанный на изучении когнитивных вызванных потенциалов головного мозга. В связи с этим встают вопросы эффективного изучения ЭЭГ методами фрактального и вейвлет анализа. Анализ медико-биологических сигналов клинко-физиологических феноменов цифровыми технологиями приводит к разрыву между физиологическим содержанием и использованием математического аппарата в проводимых исследованиях. Это отмечается в ряде научных работ, посвященных электрокардио- и ЭЭГ графии. А.П. Кулаичев (2011) указывает на преимущество использования, в сравнении с вейвлет-преобразованием, Фурье-фильтрации, отличающейся наложением в спектральной области прямоугольного окна, не деформирующего амплитудные характеристики исходного ЭЭГ сигнала, и ширина которого не зависит от частоты (и может быть четко установлена от минимального значения, включающего 2-3 спектральные линии [1].

Имеющиеся функции анализа ЭЭГ на наличие волны P300 происходящей в виде когнитивной деятельности, отображаемой на ЭЭГ в виде отрицательной полуволны, по времени отстоящей от

времени сигнала-раздражителя примерно на 300 мс) [1]. Проведенный фрактальный анализ (вычисление корреляционной размерности, показателя Херста (H), корреляционной энтропии, показателя Ляпунова и др.[1]. Расчет показателя Херста (H) для временных лагов (ВЛ) ЭЭГ этих отведений в эксперименте, объединенных по 515 временных отсчета (один отсчет=0,005с). ВЛ начала эксперимента: для отведения СЗ - $H=0,508190$, для С4 – $H=0,607674$. ВЛ завершения эксперимента от 9000 до 9500 отсчетов, включающих две метки с КВП для СЗ $H=0,819985$, для С4 $H=0,788541$. Если $H>0,5$, то временной ряд персистентен (обладает «памятью», не давно произошедшее событие оказывает влияние на последующие), и обладает фрактальной природой, однозначно это было выявлено в подобных временных лагах исследования с выделенным КВП, в которых показатель Херста менялся от 0,5865 до $\approx 0,94$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулаичев А.П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика: учеб. пособие М.: ФОРУМ:ИНФА – М, 2007. 640 с.

THE STUDY OF COGNITIVE EVOKED POTENTIALS (FRACTAL AND WAVELET ANALYSIS).

***Machikhin V. A.¹, Pichugina P. G.², Nikolskaya U. V.³,
Polyakov V. A.⁴, Antipova T. A.⁴, Tabackov D. P.¹***

*(¹ "Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics", ² "Penza State University", ³ CSC OR "Icarus",
⁴ "Samara State Medical University")*

The article describes the processing of a time series by fractal and wavelet analysis, analysis of evoked potentials of the brain.

УДК 528.8.04

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Панин Д. Н., Безлюдников К. О.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Оптимальное содержание влаги в почве необходимо для различных биофизических процессов, таких как прорастание семян, рост растений, круговорот питательных веществ, а также для поддержания естественного биоразнообразия в почве [1]. На сегодня методы дистанционного зондирования для измерения влажности почвы разработаны в следующих спектральных диапазонах электромагнитного излучения: видимом, инфракрасном и микроволновом. Внедрение сенсорных технологий для определения влажности в почве важно для достижения устойчивости растениеводства, точного земледелия. Определение влажности почвы играет ключевую роль в программных инструментах сельскохозяйственного мониторинга и прогнозирования. В данной работе проведен анализ исследований разных авторов в области дистанционного зондирования почвы, а именно: метод проникающей радиолокации, метод электроимпедансной спектроскопии, метод спектроскопии видимого ближнего и инфракрасного диапазонов, метод зондирования с помощью искусственных нейронных сетей (ИНС), а также метод искусственной интеллектуальной модели. Способы измерения влажности почвы варьируются от крупномасштабных спутниковых методов дистанционного зондирования к прецизионным полевым датчикам. Спутниковое дистанционное зондирование влажности почвы привлекательно для крупномасштабных измерений, но имеет грубое пространственное разрешение и ограничено мелким проникновением глубины.

Последние работы, посвященные методам зондирования, указывают на тенденцию к разработке недорогих, простых в использовании портативных систем, направленных на улучшение внедрения технологий в растениеводстве [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kashyap B., Kumar R. Sensing Methodologies in Agriculture for Soil Moisture and Nutrient Monitoring // IEEE Access. 2021. Т. 9. Р. 14095-14121.
2. Матвеев И.В., Осипов О.В., Панин Д.Н. Математическая модель неоднородной комплексной диэлектрической проницаемости влажной почвы с учетом гетерогенности // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами. Саратов: Саратовский источник, 2021. С. 237-241.

ANALYSIS OF EXISTING REMOTE SENSING METHODS FOR MEASURING SOIL MOISTURE

Panin D. N., Bezlyudnikov K. O.

("Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics")

The paper discusses the main methods of remote sensing for measuring soil moisture. The promising tendencies for the development and implementation of optimal portable systems for remote measurement of soil moisture, aimed at improving and developing the agro-industrial complex, have been identified.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ТОКА НА ОСВЕЩЕННЫХ И ТЕНЕВЫХ СТОРОНАХ БЕСКОНЕЧНО ТОНКИХ ЭКРАНОВ В ПРИБЛИЖЕНИИ БАРИЦЕНТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Полянский И. С., Степанов Д. Е.

(ФГКВООУ ВО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»)

В докладе рассматриваются особенности решения задачи дифракции на системе из M бесконечно тонких проводящих экранов [1]. Решение формируется в приближении барицентрического метода [2] при определении аппроксимации функции поверхностной плотности тока $\mathbf{J}^s$ на поверхности экрана S_s ($s = \overline{1, M}$) в барицентрической системе координат [3] его раскрыва Ω_s при представлении Ω_s многоугольником.

Основная особенность предложенного решения состоит в формировании гладкой аппроксимации $\tilde{\mathbf{J}}^s(\mathbf{x}) = \tilde{\mathbf{J}}_l^s(\mathbf{x}) + \tilde{\mathbf{J}}_S^s(\mathbf{x})$ искомой поверхностной плотности тока $\mathbf{J}^s$ на S_s , позволяющей для незамкнутого бесконечно тонкого экрана определять ток для освещенной $\tilde{\mathbf{J}}_l^s(\mathbf{x}) = \sum_{j^s \in M_{p_s}^s} c_{j^s}^{e^s} \psi_{j^s}^{e^s}(\mathbf{x})$ и теневой $\tilde{\mathbf{J}}_S^s(\mathbf{x}) = \sum_{\bar{j}^s \in \bar{M}_{p_s}^s} c_{\bar{j}^s}^{h^s} \psi_{\bar{j}^s}^{h^s}(\mathbf{x})$ сторонах. Здесь $\mathbf{x} \in S_s$; $\psi_{j^s}^{e^s}(\mathbf{x})$ и $\psi_{\bar{j}^s}^{h^s}(\mathbf{x})$ – векторные базисные функции электрического и магнитного типов [2]; $\bar{M}_{p_s}^s$, $M_{p_s}^s$ – множества мультииндексов [2]; $p_s \in \mathbb{N}$ – порядок аппроксимации на S_s ; $c_{j^s}^{e^s}$, $c_{\bar{j}^s}^{h^s}$ – коэффициенты разложения [1].

Представленные результаты 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. 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.

3. 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.

ON THE PROBLEM OF DETERMINING THE SURFACE CURRENT DENSITY ON THE ILLUMINATED AND SHADOW SIDES OF INFINITELY THIN SCREENS IN THE APPROXIMATION BARYCENTRIC METHOD

Polyanskii I. S., Stepanov D. E.

(The Academy “FGS Russian”)

In the report, solutions for determining the surface current density distribution for diffraction problems on a system of infinitely thin conducting screens in the approximation of the barycentric method are considered. The main feature of the proposed solution is to provide the possibility of allocating the surface current density for the illuminated and shadow sides of the screens.

РАСЧЕТ КОМПЛЕКСНЫХ ВОЛН ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ¹

Смолюкин Е. Ю., Снегур М. О.

(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»)

Определение ТЕ-поляризованных волн сводится к нахождению нетривиальных решений системы уравнений Максвелла, зависящих от координаты z , вдоль которой структура регулярна, в виде $e^{i\gamma z}$,

$$\begin{cases} \nabla \times \mathbf{H} = -i\omega \varepsilon_0 \mathbf{E}, \\ \nabla \times \mathbf{E} = -i\omega \mu_0 \mathbf{H}, \end{cases} \quad (1)$$

с граничным условием для тангенциальной составляющей электрического поля на идеально проводящем экране

$$E_y|_{x=0} = 0, \quad (2)$$

и условия непрерывности тангенциальной составляющей электрического и магнитного поля на поверхности разрыва диэлектрической проницаемости $x = h$

$$\left[E_y \right]_{x=h} = 0, \quad \left[H_z \right]_{x=h} = 0, \quad (3)$$

где $\left[f \right]_{x_0} = \lim_{x \rightarrow x_0 - 0} f(x) - \lim_{x \rightarrow x_0 + 0} f(x)$.

На рисунках ниже представлены результаты расчета постоянных распространения для задачи распространения ТЕ-поляризованных волн в слое, заполненном диэлектриком. Расчеты произведены на разных частотах. Таким образом найдены: комплексные и распространяющиеся вытекающие волны, комплексные и распространяющиеся поверхностные волны.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-70010

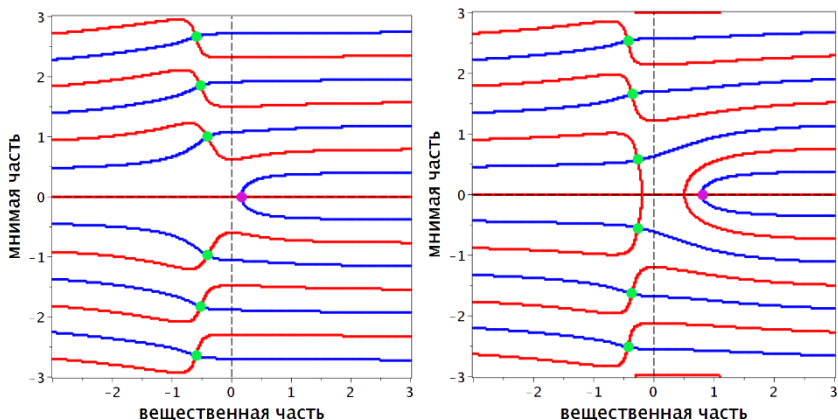


Рис. 1. Диэлектрический слой. Синяя кривая – решение первого уравнения системы; красная кривая – решение второго уравнения системы; точка пересечения синей и красной кривых, является решением системы: т.е., найдены комплексные (зеленые точки) распространяющиеся поверхностные (фиолетовые точки) волны. Значения параметров:

$$h = 4, \varepsilon = 5, \varepsilon_c = 1, \varepsilon_0 = \mu_0 = 1, e = 4, A = 1.$$

CALCULATION OF COMPLEX WAVES OF THE DIELECTRIC LAYER

Smolkin E. Yu., Snegur M. O.

(“Penza State University”)

The problem of the propagation of TE-polarized electromagnetic waves in a dielectric layer is considered. The classification of waves existing in the structure under study is carried out. The article proposes a numerical method for calculating the propagation constants of such waves. A number of numerical experiments were performed with a layer filled with a dielectric, inhomogeneous dielectric, dielectric with absorption and metamaterial.

ЗАДАЧА О РАСПРОСТРАНЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТМ-ВОЛН В ПЛОСКОМ ЭКРАНИРОВАННОМ ВОЛНОВОДЕ, ЗАПОЛНЕННОМ НЕОДНОРОДНОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДОЙ

Тихов С. В., Валовик Д. В.

(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»)

Рассмотрим плоский диэлектрический волновод $\Sigma = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq h, (y, z) \in \mathbb{R}^2\}$, имеющий абсолютно проводящие стенки, в котором распространяется монохроматическая ТМ поляризованная волна $(\mathbf{E}, \mathbf{H})e^{(-i\omega t)}$, где

$$\mathbf{E} = (E_x(x), 0, E_z(x))^T e^{i\gamma z}, \quad \mathbf{H} = (0, H_y(x), 0)^T e^{i\gamma z}, \quad (1)$$

есть комплексные амплитуды [1], γ — неизвестный вещественный параметр, ω — круговая частота. Диэлектрическая проницаемость ε среды в слое имеет вид $\varepsilon = \varepsilon_l(x) + a|\mathbf{E}|^2$, где $\varepsilon_l(x)$ есть непрерывная монотонно возрастающая функция, такая, что $\varepsilon_l(0) > 0$, и a есть вещественная постоянная.

Поле (1) удовлетворяет уравнениям Максвелла

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = -i\omega\varepsilon\mathbf{E}, \quad \operatorname{rot} \mathbf{E} = i\omega\mu\mathbf{H},$$

где $\mu > 0$ — (постоянная) магнитная проницаемость вакуума. Касательные компоненты электрического поля обращаются в нуль на идеально проводящих стенках [2]. В данном случае это компоненты E_z и H_y . Естественно считать, что x -я компонента электрического поля имеет фиксированное значение на одной из границ, например, при $x = 0$.

Значения γ такие, что существует поле (1), удовлетворяющее перечисленным требованиям, называются постоянными распространения (ПР) волновода. Полный набор ПР

является важной характеристикой волноведущей системы. Настоящая задача заключается в нахождении ПР волновода.

Методом, описанным в [3], получено интегральное характеристическое уравнение, обладающее тем свойством, что все его решения являются ПР и наоборот все ПР исследуемого волновода являются решениями полученного уравнения. Установлено существование бесконечного числа ПР с точкой накопления на бесконечности; выявлено асимптотическое распределение ПР.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-71-10015, <https://rscf.ru/project/18-71-10015/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Eleonskii P.N, Ogan'es'yants L.G., Silin V.P. Cylindric Nonlinear Waveguides // Soviet Physics JETP. 1972. Vol. 35. №1, P. 44–47.
2. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны. М.: Радио и связь, 1988. 440 с.
3. Валовик Д.В., Тихов С.В. О существовании бесконечного числа собственных значений в одной нелинейной задаче теории волноводов // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2018. Т.58. №10. С. 1658-1667.

ELECTROMAGNETIC WAVES PROPAGATION IN A PLANE SHIELDED WAVEGUIDE FILLED WITH NONLINEAR NONHOMOGENEOUS MEDIUM

Tikhov S. V., Valovik D. V.

(“Penza State University”)

By virtue of the method described in [3] integral characteristic equation (ICE) is obtained; ICE's solutions are propagation constants (PCs) of the studied waveguide and, on the contrary, all PCs satisfy to ICE.

ОТРАЖЕНИЕ И ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ОТ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ С РЕЗОНАНСНЫМ ДЕФЕКТОМ

Яцышен В. В., Веревкина К. Ю.

*(ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
университет»)*

В настоящее время большое внимание уделяется изучению периодических структур, имеющих большие практические применения при создании приборов твердотельной и наноэлектроники. Рассмотрим отражение света от периодической структуры, в которую введен резонансный слой, при этом частота падающего излучения находится вблизи фононного резонанса. В качестве используемого объекта был выбран слой фторид лития LiF толщиной 100 нм, входящий в периодическую структуру следующего состава: слой кремния Si толщиной 160 нм, слой алмаза толщиной 120 нм, слой оксида серебра Ag₂O толщиной 80 нм. Наличие резонанса значительно влияет на характер электромагнитной волны в среде – поле носит сложный характер – оно представляет собою возбуждение, являющиеся смесью чисто электромагнитного поля и механических колебаний решетки – фононов. Такие смешанные возбуждения называются поляритонами. На рис. 1 представлены результаты расчетов.

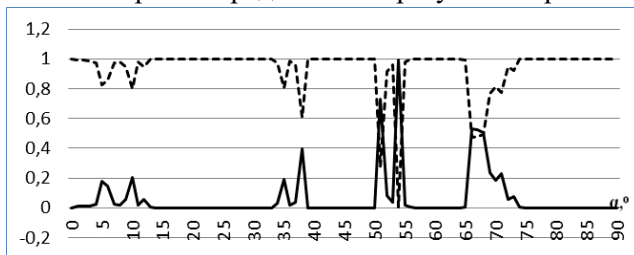


Рис. 1. Энергетические коэффициенты отражения (сплошная линия) и пропускания (пунктир) при различных углах падения α при прохождении через слоистую структуру LiF / Si / Ag₂O / C с резонансным слоем

Следовательно, с помощью предлагаемого подхода возможно количественное измерение характеристик резонансного слоя на фоне интерференционной картины, вызванной периодической структурой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yatsyshen V.V., Potapova I.I., Verevkina K.Y. Ellipsometry of nanocomposite layered materials // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 155. P. 258-268.

REFLECTION AND TRANSMISSION OF THE LIGHT WAVE FROM THE PERIODIC STRUCTURE WITH A RESONANT DEFECT

Yatsishen V. V., Verevkina K. Yu.

(“Volgograd State University”)

The report presents the results of the calculation of the angular spectra of reflection and passage for the periodic structure into which the dielectric layer with phonon resonance is built. It is shown that the polaritons arising in this layer have a very significant on the background of the spectrum of the reflection of the periodic structure itself. The proposed method allows diagnosis of both periodic layered structures with a defect and the resonant materials themselves. The periodic structure creates a kind of matrix in which the properties of the resonant layer appear particularly brightly. As an object used, a LIF lithium fluoride was selected with a thickness of 100 nm, which is part of the periodic structure of the following: a layer of silicon Si with a thickness of 160 nm, a layer of diamond with a thickness of 120 nm, 80 nm silver layer.

УДК 535.016;538.958

ДИСПЕРСИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ОБЪЕМНЫХ ПОЛЯРИТОНОВ В КРИСТАЛЛЕ LiF ВБЛИЗИ ФОННОННОГО РЕЗОНАНСА

Яцышен В. В., Григорян А. А.

*(ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
университет»)*

Для распространения поверхностных поляритонов (ПП) на поверхности материала требуется отрицательная диэлектрическая проницаемость [1]. В настоящем докладе сообщается о результатах совместного анализа дисперсионных кривых как для поверхностных поляритонов, так и для объемных поляритонов. Исследуемая структура: фторид лития. Входные данные для расчета: $\varepsilon_1 = 1$; $\varepsilon_0 = 1,92$; для кристалла LiF приведенная продольная частота $u_L = 2,197299$, приведенная частота поверхностного поляритона $u_s = 1,8754$. Для этого кристалла резонанс происходит на частоте $\omega_{T_0} = 1928 \text{ cm}^{-1}$, остальные параметры $\varepsilon_s = 9,27$; $\varepsilon_0 = 1,92$. На приведенном рис. 1 по оси абсцисс отложена относительная частота $u = \omega/\omega_{T_0}$, а вдоль оси ординат – величина $n = ck/\omega T_0$ для случая объемного поляритона и $n_{||} = ck_{||}/\omega T_0$ – для поверхностного.

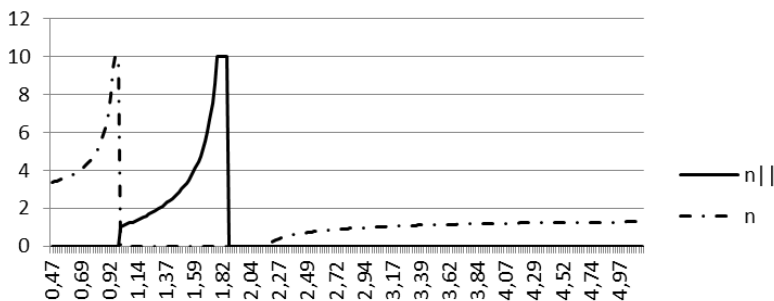


Рис. 1. Дисперсионные кривые для LiF

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yatsyshen V.V. The surface polaritons with negative group velocity at the vacuum-resonant dielectric interface // Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1889 (2). P. 22087.

DISPERSION CHARACTERISTICS OF SURFACE AND VOLUME POLARITONS IN LIF CRYSTAL NEAR PHONON RESONANCE

Yatsishen V. V., Verevkina K. Yu.

(“Volgograd State University”)

A joint analysis of both dispersion curves was carried out: for surface polaritons and for volume polaritons. For a bulk polariton, the band gap was determined, which has boundaries $1 < u < 2,197299$. Surface polariton for this crystal exists in the frequency range $1 < u < 1,8754$, which is located in the prohibited zone for volume polariton.

УДК 535.016;538.958

ЧАСТОТНЫЕ СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЯ СВЕТА ДЛЯ ТОНКОЙ ПЛАСТИНКИ ИЗ НАНОКОМПОЗИТА

Яцышен В. В., Потапова И. И.

*(ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
университет»)*

Композиционные материалы с наночастицами благородных металлов представляют большой практический интерес при разработке широкого спектра оптических устройств. Особый интерес представляют наноккомпозиты в виде наночастиц в диэлектрической матрице [1]. Преимущество таких наноматериалов в том, что, изменяя параметры матрицы и объема заполнения, можно изменять свойства поверхностных плазмонов. В расчете использованы следующие параметры: f - относительный объем наночастиц в наноккомпозите, ε_d - диэлектрическая проницаемость матрицы композита, $\varepsilon(\omega)$ - диэлектрическая проницаемость наночастиц. Для расчета использовались значения параметров $\varepsilon_d = 2,56$; $f = 0,8$.

Мы провели расчет энергетических коэффициентов отражения и прохождения для тонкого наноккомпозитного слоя толщиной 1 мкм. На рис. 1 представлен частотный спектр отражения и прохождения для s-поляризации. Можно сделать вывод, что существует область относительных частот $x = 0,16 - 0,44$, в которой наблюдается полное отражение. Следовательно, наноккомпозит в этой области ведет себя подобно резонансному диэлектрику, в котором могут возбуждаться объемные поляритоны.

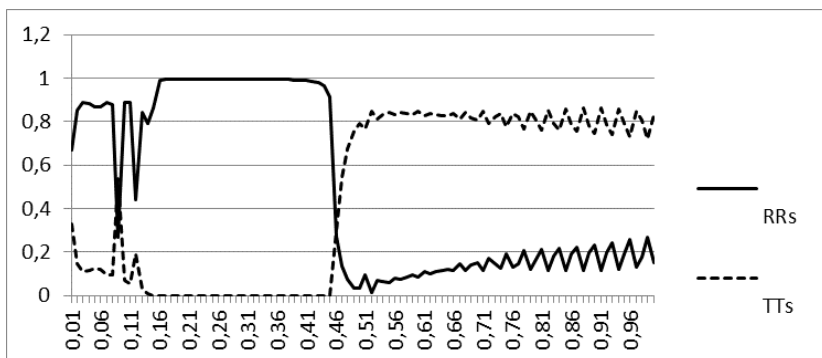


Рис. 1. Частотная зависимость энергетических коэффициентов отражения RRs и прохождения TTs для s-поляризации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yatsyshen V.V., Potapova I.I., Verevkina K.Y. Ellipsometry of nanocomposite layered materials // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 155. P. 258-268.

FREQUENCY REFLECTION AND TRANSMISSION SPECTRA FOR A THIN NANOCOMPOSITE PLATE

Yatsishen V. V., Potapova I. I.

("Volgograd State University")

The report showed the existence of a range of relative frequencies $x = 0,16 - 0,44$, in which the total reflection of light from a thin plate made of nanocomposite material is actually observed. In this region, the nanocomposite behaves like a resonant dielectric, in which bulk polaritons can be excited, which are characterized by the appearance of a forbidden zone with total reflection. In this case, metal nanoparticles themselves are not a resonant medium, but in combination with a dielectric matrix acquire resonance properties.

УДК 517.93

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОСЦИЛЛЯТОРЫ В ДИСКРЕТНОМ ВРЕМЕНИ: СИНТЕЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Зайцев В. В.¹, Карлов А. В.²

*(¹ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П. Королева»)*

*(²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Предложен физически обоснованный метод синтеза нелинейных колебательных систем, осциллирующих в дискретном времени (ДВ).

В качестве аналогового прототипа ДВ-осциллятора выбрана динамическая система с уравнением движения

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = \mu \omega_0^2 F_R(x) + \frac{\omega_0}{Q} (p F_A(x) - 1) \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 \xi(t), \quad (1)$$

где ω_0 и Q – собственная частота и добротность осциллятора с тождественно равными нулю активной $F_A(x)$ и реактивной $F_R(x)$ нелинейностями, μ и p – параметры нелинейностей, $\xi(t)$ – внешнее воздействие. Уравнение (1), в частности, описывает два классических осциллятора: ван дер Поля (при $F_A(x) = 1 - x^2$, $F_R(x) \equiv 0$) и Дюффинга (при $F_A(x) \equiv 0$, $F_R(x) = x^3$).

Синтез ДВ-осциллятора проводится в два этапа. На первом из них дифференциальный оператор в левой части уравнения (1) заменяется разностным оператором второго порядка с выполнением следующих условий: он должен быть консервативным и порождать в дискретном времени собственные колебания $x_n = x(n\Delta)$ с частотой $\Omega_0 = \omega_0 / \omega_d$, где $\omega_d = 2\pi / \Delta$. Результатом этапа является уравнение вида

$$x_n - \cos(2\pi\Omega_0)x_{n-1} + x_{n-2} = F(x_{n-1}, x_{n-2}, n-1). \quad (2)$$

Явный вид правой части (2) выпишем, например, для осциллятора ван дер Поля:

$$F(\circ) = 2\pi \frac{\Omega_0}{Q} (p(1 - x_{n-1}^2) - 1)(kx_{n-1} - x_{n-2}) + 4\pi^2 \Omega_0^2 \varepsilon_{n-1}.$$

Здесь использован коэффициент k , определяемый на втором этапе синтеза. Он должен быть таким, чтобы решение методом Эйлера укороченного уравнения для амплитуды автоколебаний осциллятора (1) совпадало с разностным укороченным уравнением для амплитуды осциллятора (2). Результат второго этапа: $k = \cos(2\pi\Omega_0)$ [1].

Заметим, что для осцилляторов томсоновского типа при $\Omega_0 \ll 1$ соотношение (2) – алгоритм решения уравнения (1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев В.В. Дискретный осциллятор ван дер Поля: Конечные разности и медленные амплитуды // Известия вузов. ПНД. 2017. Т. 25. № 6. С. 70–78.

NONLINEAR OSCILLATORS IN DISCRETE TIME: SYNTHESIS OF DYNAMIC SYSTEMS

Zaitsev V. V.¹, Karlov A. V.²

(¹ “Samara National Research University”, ² “Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

A physically justified method of synthesis of nonlinear oscillating systems oscillating in discrete time is proposed. Synthesized dynamic systems are used as nonlinear discrete (digital) filters and basic models of radio system elements.

СЕКЦИЯ 2. МЕТА – И НАНОСТРУКТУРЫ

СВЯЗАННЫЕ СОСТОЯНИЯ В КОНТИНУУМЕ И ИСКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ТОЧКИ В КАСКАДНЫХ СТРУКТУРАХ НАНОФОТОНИКИ

Головастиков Н. В.^{1,2}, Безус Е. А.^{1,2},

Быков Д. А.^{1,2}, Досколович Л. Л.^{1,2}

*(¹ИСОИ РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и
фотоника» РАН, ²ФГАОУ ВО «Самарский национальный
исследовательский университет имени академика С. П.
Королева»)*

Исследуются оптические свойства каскадных диэлектрических дифракционных структур, состоящих из нескольких резонансных дифракционных решеток, разделенных слоями диэлектрика (рис. 1). Показано, что в таких структурах наблюдается ряд резонансных оптических эффектов. В частности, при выполнении условия резонанса Фабри–Перо в промежуточном слое могут возникать резонансы с бесконечной добротностью, называемые связанными состояниями в континууме [1].

Кроме того, показано, что при надлежащем выборе параметров структуры комплексные частоты двух собственных мод структуры совпадают. При этом также совпадает распределение поля этих мод [2].

Формирование связанных состояний в континууме и особых точек описано на основе теории связанных волн. Показано, что построенное теоретическое описание может также быть распространено на планарные элементы нанофотоники, интегрированные на поверхности плоскопараллельного волновода. Полученные результаты могут найти применение в лазерах, оптических фильтрах и сенсорах.

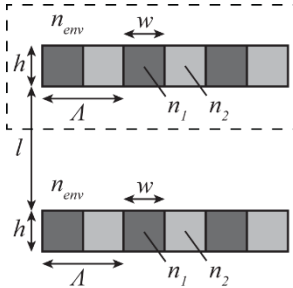


Рис. 1. Геометрия каскадной структуры

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dskolovich L., Bezus E., Bykov D., Golovastikov N., Soifer V. Resonant properties of composite structures consisting of several resonant diffraction gratings // Optics Express. 2019. №27(18). P. 25814-25828.
2. Bykov D., Dskolovich L. Cross-polarization mode coupling and exceptional points in photonic crystal slabs // Physical Review A. 2018. № 97. P. 013846.

BOUND STATES IN THE CONTINUUM AND EXCEPTIONAL POINTS IN CASCADED NANOPHOTONIC STRUCTURES

Golovastikov N. V.^{1,2}, Bezus E. A.^{1,2},

Bykov D. A.^{1,2}, Dskolovich L. L.^{1,2}

(¹“IPSI RAS – Branch of the Federal Scientific Research Centre
“Crystallography and Photonics” of RAS”, ²“Samara National
Research University”)

We investigate bound states in the continuum and exceptional points in cascaded diffraction gratings. These effects were investigated using the coupled-wave formalism and rigorous simulations based on the Fourier modal method. Possible applications include lasing, sensing, and optical filtering.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА ПОЛОЖЕНИЕ МАКСИМУМА ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА В КОМПОЗИТНОЙ СРЕДЕ

Богданова Е. И., Головкина М. В.

(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

Сверхпроводники – это материалы, которые обладают очень малым сопротивлением [1]. Если температура ниже критической, то сверхпроводник находится в сверхпроводящем состоянии и имеет малые потери, в противном случае сверхпроводимость разрушается.

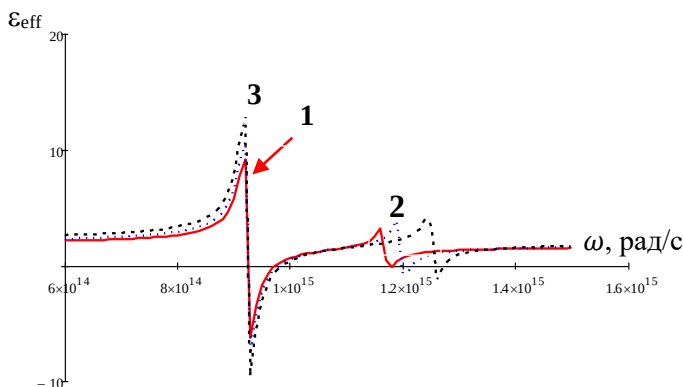


Рис.1. Частотная зависимость действительной части эффективной диэлектрической проницаемости композитной среды

В работе рассматривается нанокомпозитная среда со сверхпроводящими включениями. Для расчета эффективной диэлектрической проницаемости сверхпроводника применялась формула Максвелла Гарнетта [2]. Сверхпроводник описывается в рамках двухжидкостной модели [3]. На рисунке 1 представлены

результаты расчетов для включений из YBCO при различной концентрации включений (кривая 1: $f=0,15$, кривая 2: $f=0,2$, кривая 3: $f=0,3$). Отметим, что наблюдается наличие двух максимумов плазмонного резонанса, возникающие на границе раздела со сверхпроводящей и несверхпроводящей жидкостью. Эффективная диэлектрическая проницаемость сильно зависит от концентраций включений f .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Игумнов В.Н. Основы высокотемпературной криоэлектроники. М.: Директ-Медиа, 2014. 237 с.
2. Golovkina M.V. The electromagnetic wave amplification in thin superconducting film in non-linear mixed state Journal of Physics: Conference Series. 2020. 1679(2). P. 022061.
3. Головкина М.В. Отражение электромагнитной волны от системы сверхпроводник-полупроводник // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 8. С. 8-10.

INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF SUPERCONDUCTING INCLUSIONS ON THE POSITION OF THE PLASMON RESONANCE MAXIMUM IN A COMPOSITE MEDIUM

Bogdanova E. I., Golovkina M. V.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

Investigation of the dielectric constant of a medium containing superconductor nanoparticles in the dielectric showed the dependence of the plasmon resonance maximum on the concentration of nanoparticles.

УДК 537.846.4

РЕШЕТКА ВИХРЕЙ АБРИКОСОВА В НАНОЧАСТИЦАХ ИЗ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА

Головкина М. В., Петропавловский В. М.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Высокотемпературные сверхпроводники обладают большим потенциалом для практического применения в устройствах фотоники вследствие малого затухания. Высокотемпературные сверхпроводники относятся к сверхпроводникам второго рода, для которых магнитное поле может проникать в тонкую сверхпроводящую пленку в виде тонких упорядоченных нитей, образующих решетку вихрей Абрикосова [1]. Если через пленку пропустить электрический ток, решетка магнитных вихрей приходит в движение со скоростью, которая зависит от плотности транспортного тока j_z и коэффициента вязкости магнитного вихря η :

$$v_x = -j_z \frac{\Phi_0}{\eta}, \quad \eta = \frac{B_{c2} \Phi_0}{\rho_n},$$

где B_{c2} – величина внешнего магнитного поля, которое еще не разрушает сверхпроводимость, ρ_n – удельное сопротивление для несверхпроводящего состояния.

Важной задачей является увеличение плотности критического тока в тонкой сверхпроводящей пленке. Величина критического тока зависит не только от состава сверхпроводника, но и от наличия дефектов в пленке, которые могут служить центрами пиннинга для вихревой структуры, увеличивающими плотность критического тока [2].

В данной работе рассматриваются наночастицы из высокотемпературной иттриевой керамики YBCO, находящиеся во

внешнем магнитном поле, не превышающем величину второго критического поля для сверхпроводника $B < B_{c2}$. Исследуются особенности возникновения вихрей Абрикосова в наночастицах сферической формы. В случае малых магнитных полей удельное сопротивление зависит от лондоновской глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводник λ_L :

$$\rho_n(\omega) = i\omega\mu_0\lambda_L^2.$$

Рассматривается расчет электрической и магнитной восприимчивости сверхпроводящих наночастиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Flis V. S. et al. HTSC cuprate films doped with nanoparticles and their electrodynamics, determined by Abrikosov vortices // Low Temperature Physics, 2010. Vol. 36(1). P. 59–70.
2. Головкина М.В., Петропавловский В.М. Особенности взаимодействия электромагнитных волн с ультрабыстрыми вихрями Абрикосова в тонкой сверхпроводящей пленке // XVIII Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов» ФИТПВП – 2020, Самара. С. 210 – 211.

ABRIKOSOV VORTEX IN NANOPARTICLES FROM A HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTOR

Golovkina M.V., Petropavlovsky V.M.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The paper considers the features of the appearance of the Abrikosov vortex lattice in spherical nanoparticles, which are made of a high-temperature superconductor. Calculations of the electrical and magnetic susceptibility of superconducting nanoparticles have been performed.

УДК 621.396.674.37

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕДНЫХ S-ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕЗОНАНСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ СВЧ-ЭНЕРГИИ

Давыдова В. С., Осипов О. В.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Метаматериал представляет собой совокупность диэлектрического контейнера и размещенных на его поверхностях проводящих микроэлементов. Для решения задачи частотно-селективной концентрации СВЧ-энергии используется так называемый киральный метаматериал, в котором проводящие элементы обладают зеркально асимметричной формой, то есть не совпадают со своим отражением в плоском зеркале.

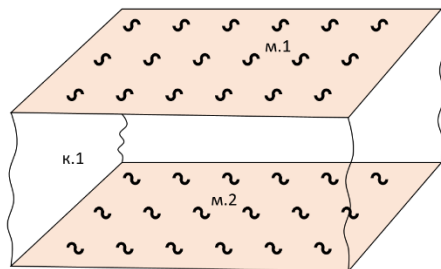


Рис. 1. Геометрия кирального метаматериала

На рис. 1 показана общая структура планарного кирального метаматериала, расположенного на плоской поверхности и используемого для создания частотно-селективного концентратора СВЧ-энергии. Метаматериал состоит из диэлектрического контейнера (подложки) к.1, который служит объемом для концентрации СВЧ-энергии, падающей на определенной частоте на метаматериал. Толщина контейнера должна быть больше длины волны концентрируемого СВЧ-излучения. На передней

поверхности контейнера расположена матрица м.1 из медных полосковых проводящих S-образной формы элементов. Элементы располагаются на одинаковых расстояниях друг от друга и имеют одинаковую ориентацию друг относительно друга. S-образные элементы, располагаемые на передней поверхности контейнера имеют правую форму. На задней поверхности контейнера расположена матрица м.2 из полосковых проводящих S-образной формы элементов. При этом элементы обладают геометрическими размерами, идентичными элементам из матрицы м.1, также одинаково ориентированы друг относительно друга, но имеют при этом левую форму (то есть являются отражениями в плоском зеркале элементов из матрицы м.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Осипов О.В. Отражающие, волноведущие и излучающие структуры с киральными элементами. М.: Радио и связь, 2006. 280 с.

DEVELOPMENT OF A TECHNIQUE FOR USING COPPER S-ELEMENTS FOR THE RESONANT CONCENTRATION OF MICROWAVE ENERGY

Davydova V. S., Osipov O. V.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

In this work, a mathematical model of a chiral metamaterial was constructed on the basis of strip chiral S-elements located on the surface of a dielectric container (substrate). Problem intended by using resonant S-shaped strip elements in the structure of the metamaterial, which are uniformly placed and co-oriented inside the dielectric metamaterial container. Such a metamaterial makes it possible, at a predetermined frequency to transform normally (obliquely) incident microwave radiation into re-radiation inside the metamaterial layer.

УДК 537.876.4+537.874

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОБ ОТРАЖЕНИИ ВОЛНЫ ОТ ПЛАНАРНОГО СЛОЯ ИЗ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДВУХВИТКОВЫХ ТОНКОПРОВОЛОЧНЫХ СПИРАЛЕЙ

Лиманова А. И., Осипов О. В.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В работе рассмотрено отражение плоской электромагнитной волны Е-поляризации от планарного кирального слоя, созданного на основе матрицы равномерно размещенных тонкопроволочных спиральных элементов, каждый из которых содержит два витка закрутки. Киральный метаматериал описывался обобщенной математической моделью, учитывающей свойства киральности, гетерогенности и дисперсии. Для учета киральности были использованы материальные уравнения для киральной среды в формализме Линделла-Сиволы, связывающие между собой электрические и магнитные индукции поля одновременно с напряженностями электрического и магнитного полей. Для учета дисперсии параметра киральности была использована модель Кондона. Для учета дисперсии диэлектрической проницаемости была использована модель Друде. Для учета гетерогенности была использована модель Бругтемана, которая позволяет вычислить эффективную диэлектрическую проницаемость гетерогенной среды через проницаемость контейнера, областей с элементами и концентрацию.

На рис. 1 приведены частотные зависимости прошедшей и отраженной мощностей основной и кросс-поляризованной компонент поля. Индексы «е_е» относятся к основной волне; индексы «е_h» – к кросс-поляризованной. Из рис. 1 видно, что метаматериал обладает ярко выраженными частотно селективными свойствами. На частоте 1.77 ГГц возникает аномальное резонансное ослабление прохождения Е-поляризованной волны порядка -75дБ при уровне ослабления отражения

основной компоненты порядка -10 дБ. В этом случае преобладающая часть энергии падающей волны концентрируется в киральном слое за счет переизлучения в плоскости структуры.

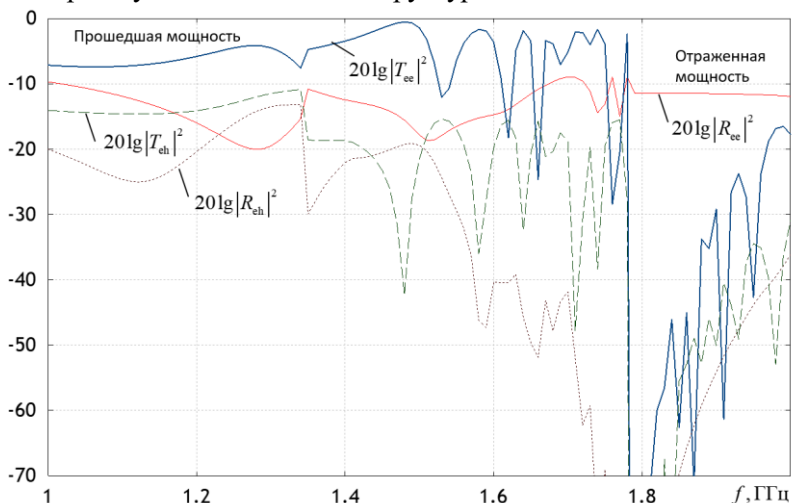


Рис. 1. Частотные зависимости прошедшей и отраженной мощностей основной и кросс-поляризованной компонент поля

THE WAVE REFLECTION FROM A PLANAR LAYER OF CHIRAL METAMATERIAL BASED ON TWO-TURNS THIN WIRE HELICES

Limanova A. I., Osipov O. V.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The paper considers the reflection of a plane electromagnetic E-polarized wave from a planar chiral layer based on a matrix of uniformly spaced thin-wire helices, each of which contains two twisting turns. The metamaterial has pronounced frequency-selective properties. At a frequency of 1.77 GHz, an anomalous resonant attenuation of the E-polarized wave transmission of the order of -75 dB occurs.

СОБСТВЕННЫЕ ВОЛНЫ КРУГЛОГО КИРАЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С УЧЕТОМ ГЕТЕРОГЕННОСТИ МЕТАМАТЕРИАЛА

Осинов О. В., Бучнев И.Ю.

(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

Задачи о нахождении собственных волн плоских и круглых киральных волноводов является хорошо известными. Однако ранее при их рассмотрении использовалась математическая модель кирального метаматериала, не учитывающая его гетерогенность, которая влияет на расчет эффективной диэлектрической проницаемости метаматериала. В данной работе для учета гетерогенности использовалась модель Бруггемана.

В работе рассматривался круглый диэлектрический волновод радиуса R , однородно заполненный киральным метаматериалом (сердцевина) (область 2) и окруженный диэлектрической оболочкой (область 1). Подобный оптический киральный метаматериал может быть получен путем легирования кварца оптически активным веществом (например, исландским шпатом). Для описания киральной среды были применены материальные уравнения следующего вида, в которых учтена гетерогенность по Бруггеману:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} - i\chi \vec{H}; \quad \vec{B} = \mu \vec{H} + i\chi \vec{E}, \quad (1)$$

где

$$\epsilon = \sqrt{\frac{[\epsilon_s(1-3\alpha) - \epsilon_c(2-3\alpha)]^2}{16} + \frac{\epsilon_c \epsilon_s}{2}} - \frac{[\epsilon_s(1-3\alpha) - \epsilon_c(2-3\alpha)]}{4},$$

где ϵ — эффективная диэлектрическая проницаемость; ϵ_s — проницаемость объема с киральным атомом; ϵ_c — проницаемость

диэлектрического контейнера; α — концентрация киральных атомов; χ — параметр киральности.

Дисперсионное уравнение для собственных волн круглого диэлектрического волновода с учетом киральности имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & \frac{n^2}{R_1^2} \left(\frac{1}{p_2^2} - \frac{1}{p_1^2} \right) \left(\frac{\varepsilon_2 \mu_2}{\gamma_{\perp 2}^2} - \frac{\varepsilon_1 \mu_1}{p_1^2} \right) = \\ & = \left[\frac{\varepsilon_2}{2 p_2^2} \left(\frac{J'_n(\alpha_{R2} R_1)}{J_n(\alpha_{R2} R_1)} + \frac{J'_n(\alpha_{L2} R_1)}{J_n(\alpha_{L2} R_1)} \right) - \frac{\varepsilon_1}{p_1^2} \frac{H_n^{(2)}(p_1 R_1)}{H_n^{(2)}(p_1 R_1)} \right] \times \\ & \times \left[\frac{\mu_2}{2 p_2^2} \left(\frac{J'_n(\alpha_{R2} R_1)}{J_n(\alpha_{R2} R_1)} + \frac{J'_n(\alpha_{L2} R_1)}{J_n(\alpha_{L2} R_1)} \right) - \frac{\mu_1}{p_1^2} \frac{H_n^{(2)}(p_1 R_1)}{H_n^{(2)}(p_1 R_1)} \right], \end{aligned}$$

где

$$p_1 = \sqrt{k_0^2 \varepsilon_1 \mu_1 - \gamma^2}; \quad p_2 = \sqrt{k_0^2 \varepsilon_2 \mu_2 - \gamma^2}; \quad \alpha_{R,L2} = \sqrt{k_0^2 \left(\sqrt{\varepsilon_2 \mu_2} \pm \chi_2 \right)^2 - \gamma^2}.$$

Индексы «1» и «2» относятся к оболочке и сердцевине волновода, соответственно.

В работе проведен расчет $\gamma(k_0)$ для основной моды волновода и выявлено влияние концентрации легированных киральных атомов на их распространение.

EIGENWAVES OF A OPTICAL CHIRAL FIBER TAKING INTO ACCOUNT THE HETEROGENEITY

Osipov O. V., Buchnev I.Yu.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

A circular optical chiral waveguide is considered in the work. The mathematical model of the chiral filler is constructed in the work. The dispersion equation for natural waves was obtained taking into account the heterogeneity of the metamaterial.

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОШЕДШЕЙ МОЩНОСТИ ЧЕРЕЗ МЕТАМАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ГАММАДИОНОВ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ

Осинов О. В., Троицкая М. К.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В работе проведен анализ прохождения плоской электромагнитной волны линейной поляризации через планарный слой кирального метаматериала, созданного на основе периодической матрицы из тонкопроволочных 2-ух заходных проводящих микрочастиц – гаммадионов (рис. 1).

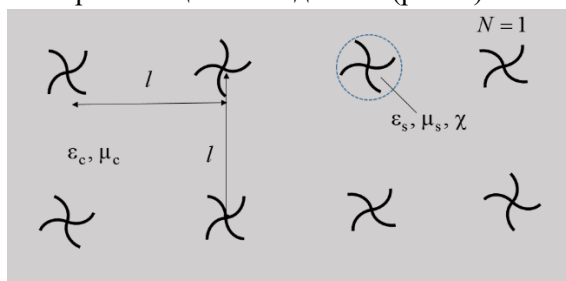


Рис.1. Геометрия задачи

Метаматериал описывался одновременно моделями Бруггемана (гетерогенность), Друде (дисперсия диэлектрической проницаемости) и Кондона (дисперсия киральности). В результате использования метода частичных областей была получена система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов отражения и прохождения. При численном моделировании были построены частотные зависимости прошедшей и отраженной мощностей, выраженных в дБ. Интерес представляло исследование влияния изменения расстояния между гаммадионами на прошедшую через метаматериал мощность. На

рис. 2 приведен типичный вид зависимости при различных значениях расстояния A . Видно, что имеет место частотная селективность метаматериала. Также можно сделать вывод, что увеличение расстояния приводит к возникновению более глубоких резонансных минимумов прохождения волны, и как следствие, к возможности более эффективной частотно селективной концентрации СВЧ энергии в объеме метаматериала.

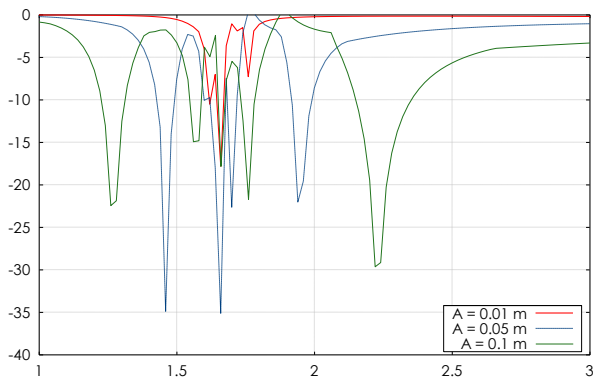


Рис.2. Частотные зависимости прошедшей мощности СВЧ

INVESTIGATION OF THE DEPENDENCE OF TRANSMITTED POWER THROUGH METAMATERIAL BASED ON GAMMADIONS FROM THE INTER- ELEMENT DISTANCE

Osipov O. V., Troitskaia M.K.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

A mathematical model of a chiral metamaterial based on gammadions is constructed in the work. The problem of the reflection of a plane electromagnetic wave from the investigated metamaterial is solved by the method of partial regions. It is proved in the work that the metastructure has frequency selectivity. The influence of the inter-element distance on the transmitted power has been studied.

УДК 535.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТРАЖЕНИЯ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ОТ КИРАЛЬНОГО СЛОЯ НА ОСНОВЕ С-ЭЛЕМЕНТОВ

Осипов О. В., Троицкая М. К.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В настоящее время доказано, что метаматериалы могут проявлять нестандартные свойства взаимодействия с электромагнитным полем. В частности, в киральных метаматериалах наблюдаются такие свойства как частотная и поляризационная селективность. В предлагаемой работе рассматривается объемный метаматериал СВЧ диапазона, который состоит из диэлектрического контейнера и размещенных в нем на одинаковых расстояниях, проводящих полосковых С-элементов с хаотической ориентацией. Геометрия приведена на рис. 1.

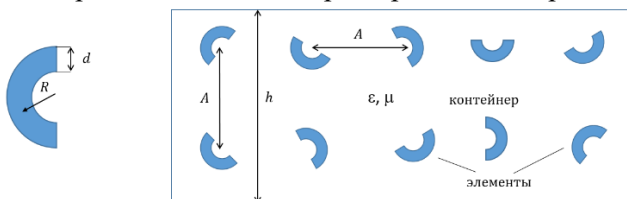


Рис.1. Геометрия задачи

Для описания слоя кирального метаматериала использовалась математическая модель: учет киральности с использованием материальных уравнений в нотации Линделла-Сиволы; учет гетерогенности по формуле Бруггемана; учет дисперсии диэлектрической проницаемости по модели Друде и учет дисперсии параметра киральности по формуле Кондона.

С использованием указанной математической модели кирального метаматериала была решена задача об отражении плоской электромагнитной волны линейной поляризации от

кирального слоя на основе С-элементов. Задача решалась методом частичных областей с учетом кросс-поляризации во внешних, по отношению к киральному слою, областях.

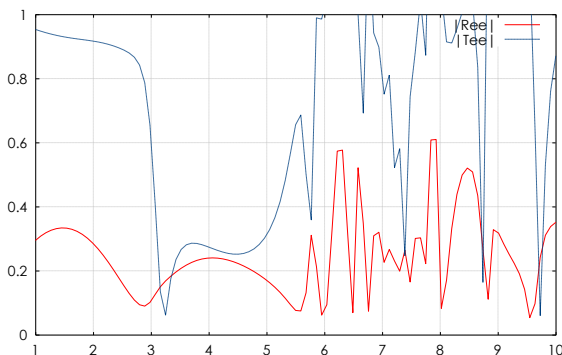


Рис.2. Частотные зависимости модулей коэффициентов отражения $|R_{ee}|$ и коэффициентов прохождения $|T_{ee}|$ при падении волны Е-поляризации

Как видно из рис. 2, в рассматриваемой структуре наблюдается частотная селективность отражения и прохождения, а именно на ряде дискретных частот наблюдается возможность преобразования нормально падающего электромагнитного излучения в рассеяние в объеме метаматериала.

INVESTIGATION OF REFLECTION OF A PLANE ELECTROMAGNETIC WAVE FROM A CHIRAL LAYER BASED ON C-ELEMENTS

Osipov O. V., Troitskaia M. K.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

A mathematical model of a chiral metamaterial based on C-elements is constructed in the work. The problem of the reflection of a plane electromagnetic wave from the investigated metamaterial is solved by the method of partial regions.

УДК 535.015

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КИРАЛЬНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА ИЗ МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

Осипов О. В., Троицкая М. К.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В настоящее время создание новых видов метаматериалов является крайне перспективной задачей с точки зрения получения уникальных свойств взаимодействия между электромагнитным полем и искусственной структурой. В большинстве случаев в структуру метаматериала как композиционной среды входят микровключения одинаковой формы и размеров.

В предлагаемой работе предложен вариант построения математической модели метаматериала, который одновременно обладает свойствами киральности, гетерогенности, дисперсии, а также состоит из некоторого числа совокупностей проводящих микрочастиц, обладающих различными геометрическими формами и размерами. Общая структура метаматериала приведена на рис. 1.

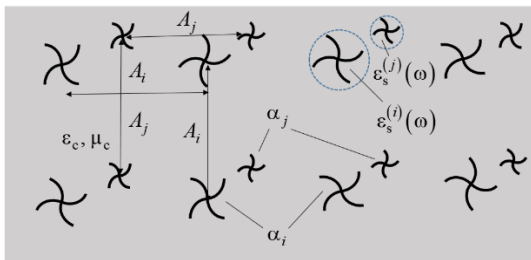


Рис.1. Геометрия задачи

Рассматриваемый метаматериал состоит в общем случае из N -матриц зеркально асимметричных элементов. Микровключения в каждой матрице являются тождественными по форме и размерам, но имеют хаотическую ориентацию. Элементы из разных матриц

могут отличаться друг от друга как по форме, так и по размерам. Для учета гетерогенности структуры были использованы соотношения Лорентц-Лоренца. Дисперсия диэлектрической проницаемости учитывалась по модели Друде, а частотная зависимость параметра киральности — по формуле Кондона.

В работе были записаны материальные уравнения для рассматриваемого метаматериала следующего вида:

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

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_c \frac{1 + \frac{8\pi}{3} \sum_{i=1}^N \alpha^{(i)} \zeta^{(i)}(\omega)}{1 - \frac{4\pi}{3} \sum_{i=1}^N \alpha^{(i)} \zeta^{(i)}(\omega)}; \quad \zeta^{(i)}(\omega) = \frac{3}{4\pi} \int_V d\vec{r} \frac{\varepsilon_s^{(i)}(\omega) - \varepsilon_c}{2\varepsilon_c + \varepsilon_s^{(i)}(\omega)};$$

$$\varepsilon_s^{(i)}(\omega) = \varepsilon_c + \frac{\alpha^{(i)2}}{\omega_{0i}^2 - \omega^2}; \quad \langle \chi \rangle(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{A_i \alpha^{(i)2} \omega}{c(\omega_{0i}^2 - \omega^2)},$$

где $\varepsilon(\omega)$ и μ — эффективные диэлектрическая и магнитная проницаемости; $\zeta^{(i)}(\omega)$ и ω_{0i} — форм-фактор и резонансная частота микроэлементом i -го вида; A_i — расстояние между включениями i -го вида; $\alpha^{(i)}$ — концентрация включений i -го вида.

METHOD FOR CONSTRUCTING A MATHEMATICAL MODEL OF A CHIRAL METAMATERIAL BASED ON DIFFERENT KINDS MICROINCLUSIONS

Osipov O. V., Troitskaia M. K.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)

In this work we consider a chiral metamaterial based on a number of matrices of microinclusions of various shapes and sizes. Material equations taking into account the chirality, heterogeneity and dispersion of the considered metamaterial were obtained.

ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ ПЛОСКОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ВКЛЮЧЕНИЙ В КИРАЛЬНОМ МЕТАМАТЕРИАЛЕ ПО МОДЕЛЯМ МАКСВЕЛЛА ГАРНЕТТА И БРУГГЕМАНА

Панин Д. Н., Кузнецов Я. М.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В данной работе на основе моделей Максвелла Гарнетта и Бруггемана рассчитаны зависимости модулей коэффициентов отражения основной волны от концентрации киральных включений в метаматериал α [1]. На рис. 1 представлены результаты расчетов.

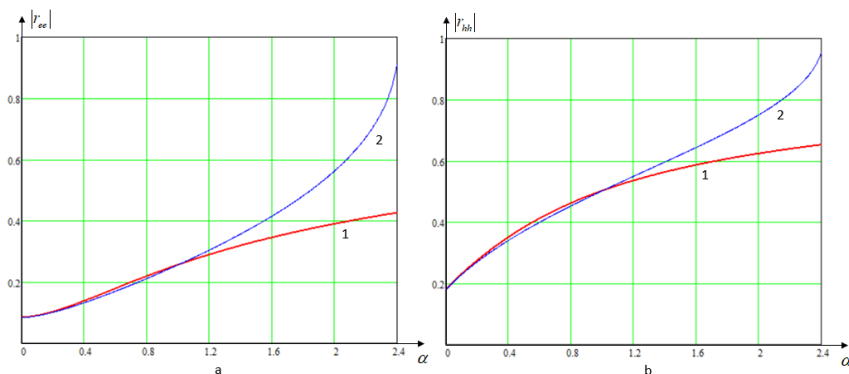


Рис.1 Зависимости модулей коэффициентов отражения основной волны от концентрации включений (*a* – Е-поляризация, *b* – Н-поляризация)

В качестве сравнения представлены графики зависимостей модулей коэффициентов отражения основной волны Е - и Н – поляризации (рис. 1а и рис. 1б соответственно) от концентрации включений в киральный метаматериал по модели Максвелла Гарнетта (кривая 1) и модели Бруггемана (кривая 2). Угол падения составляет 45° . Из графиков видно, что при концентрации киральных

включений до $\alpha = 1$ модули коэффициентов отражений от границы раздела «диэлектрик-киральный метаматериал» практически совпадают по своим значениям. Это доказывает возможность используемых гетерогенных моделей для расчета характеристик кирального метаматериала. Следует отметить совпадение результатов и при других углах падения электромагнитной волны. При нормальном падении значения коэффициентов отражения основных волн Е- и Н-поляризации совпадают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев И.В., Осипов О.В., Панин Д.Н. Взаимодействие электромагнитной волны с киральным метаматериалом на основе модели Максвелла Гарнетта // XVIII Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов», ФиТПВП-2020. 2020. С. 220 – 221.

DEPENDENCES OF REFLECTION COEFFICIENTS OF A PLANE ELECTROMAGNETIC WAVE ON THE CONCENTRATION OF INCLUSIONS IN A CHIRAL METAMATERIAL ACCORDING TO THE MAXWELL GARNETT AND BRUGHHEMANN MODELS

Panin D. N., Kuznetsov Ya. M.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

In this paper, the dependences of the moduli of the coefficients of a plane electromagnetic wave of linear polarization on the concentration of inclusions are calculated. The possibility of using the heterogeneous models of Maxwell Garnett and Bruggeman for calculating the characteristics of a chiral metamaterial has been proved.

УДК 535.34

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НА МОРФОЛОГИЮ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ СУЛЬФИДА СВИНЦА

***Булыга Д. В.³, Евстропьев С. К.^{2,3}, Морковский А. Д.¹,
Пашин С. С.¹***

*(¹ФГОБУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики», ²АО "НПО ГОИ им. С.И.
Вавилова", ³ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
университет информационных технологий, механики и
оптики»)*

В данной работе представлены результаты измерений изготовленных растворов, которые содержат нитрат свинца с добавками различных органических стабилизаторов. Для оценки влияния типа органического стабилизатора на свойства красящих композиций были использованы три различных вещества, способные стабилизировать формирующиеся в растворах наночастицы: поливинилпирролидон (ПВП), трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) и полиэтиленгликоль (ПЭГ). Во всех этих органических соединениях есть структурные группы, способные взаимодействовать с ионами переходных металлов в растворах. Измерение спектров отражения полученных образцов проводились в диапазоне 300-1800 нм. При добавлении стабилизаторов внешний вид растворов не изменился, растворы полностью сохранили прозрачность и однородность. Этот факт позволяет сделать вывод, о том, что использованные добавки стабилизаторов к раствору нитрата не приводят к формированию крупных неоднородностей. На рис. 1, приведены спектры поглощения водных растворов $Pb(NO_3)_2$ с добавками различных органических стабилизаторов. Полосы поглощения чистого ПЭГ расположены в ультрафиолетовой (УФ) области спектра (~ 210 и $\sim$

250 нм) и не оказывают существенного влияния на спектр водного раствора $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с добавкой ПЭГ.

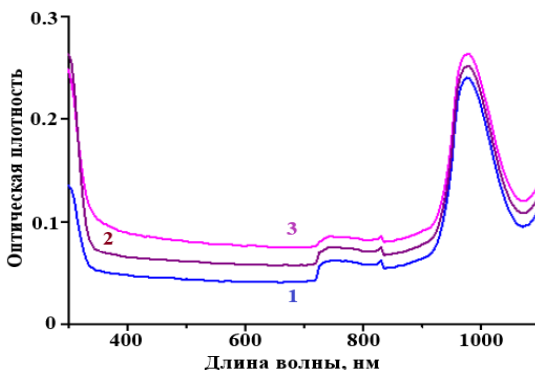


Рис.1. Спектры поглощения водных растворов $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с добавками различных органических стабилизаторов

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках научного проекта № 16456ГУ/2021.

RESULTS OF RESEARCH THE INFLUENCE DIFFERENT ORGANIC STABILIZERS ON THE MORPHOLOGY AND SPECTRAL PROPERTIES OF LEAD SULFIDE NANOPARTICLES

**Bulyga D. V.³, Evstropiev S. K.^{2,3}, Morkovskii A. D.¹,
Pashin S. S.¹**

(¹Povozhskiy State University of Telecommunications and Informatics, ²JSC "Scientific Production Association State Optical Institute Named after Vavilov S.I.", ³National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics"

This work presents the results of research the prepared solutions that contain lead nitrate with additives of various organic stabilizers.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХСТОРОННИХ ПРИБЛИЖЕННЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ТОНКОГО КИРАЛЬНОГО СЛОЯ В ВОЛНОВОДЕ

Пименова С. А., Осипов О. В.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Исследуемая структура представляет собой прямоугольный СВЧ волновод. В поперечной плоскости волновода расположена планарная вставка из кирального метаматериала, ширина которого равняется h . Киральный слой является тонким, размещается при $z = 0$ и обладает материальными параметрами ε , μ и χ .

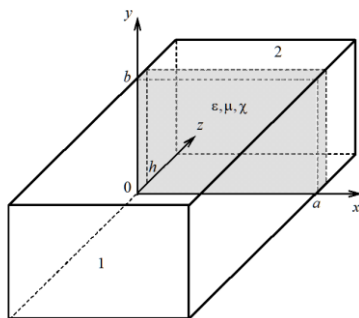


Рис. 1. Геометрия задачи

Для заданной геометрии задачи записаны двухсторонние приближенные граничные условия для тонкого кирального слоя. Из первой области $z < 0$ на киральный слой падает основная волна H_{10} с составляющими E_y, H_x, H_z комплексных амплитуд электромагнитного поля. Поле волны H_{10} порождает на киральной неоднородности отраженные и прошедшие волны как Н, так и Е-типа, вследствие явления кросс-поляризации поля.

Тангенциальные составляющие $E_x^{(j)}$ и $H_y^{(j)}$ ($j = 1, 2$) будут возникать в первой и второй областях волновода при падении волны

H_{10} на поперечный киральный слой. В поперечной плоскости структура поля волны H_{01} является ортогональной по отношению к полю волны H_{10} . Поэтому, поле волны H_{01} является кросс-поляризованным относительно H_{10} . Задача по нахождению коэффициентов отражения и прохождения волн H_{10} и H_{01} решалась с использованием двухсторонних приближенных граничных условий (ДПГУ) для тонкого кирального слоя [1]. При подстановке выражений для векторов поля в областях 1 и 2 в ДПГУ была получена система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов отражения и прохождения. В работе были исследованы частотные зависимости модулей коэффициентов отражения и прохождения волн H_{10} и H_{01} а также их зависимости от параметра киральности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Осипов О.В. Отражающие, волноведущие и излучающие структуры с киральными элементами. М.: Радио и связь, 2006. 280 с.

APPLICATION OF TWO-SIDED APPROXIMATE BOUNDARY CONDITIONS FOR A THIN CHIRAL LAYER IN A WAVEGUIDE

Pimenova S. A., Osipov O. V.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

In this work, two-sided approximate boundary conditions for the chiral layer were used to describe a thin transverse chiral insert in a rectangular waveguide. In this work, the frequency dependences of the moduli of the reflection and transmission coefficients of waves and, as well as their dependence on the chirality parameter, were investigated.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ И ПРОХОЖДЕНИЯ ДЛЯ БИАНИЗОТРОПНОГО МЕТАМАТЕРИАЛА С УЧЕТОМ ДИСПЕРСИОННЫХ СВОЙСТВ

Рогова Н. В.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В работе проведен анализ взаимодействия плоской электромагнитной волны с метаматериалом на основе бианизотропной среды. При решении задачи учитывалась дисперсия диэлектрической проницаемости по модели Друде и дисперсия параметра киральности по модели Кондона. В результате в работе построена математическая модель бианизотропной среды на основе тензоров диэлектрической и магнитной проницаемости с учетом дисперсионных свойств.

В основе математической модели лежат следующие материальные уравнения:

$$\vec{D} = \tilde{\epsilon} \vec{E} \mp i \left[\frac{A \beta_0^2 \omega}{c(\omega_0^2 - \omega^2)} \right] \vec{H}; \quad \vec{B} = \tilde{\mu} \vec{H} \pm i \left[\frac{A \beta_0^2 \omega}{c(\omega_0^2 - \omega^2)} \right] \vec{E};$$

$$\tilde{\epsilon} = \begin{pmatrix} \epsilon_c & \epsilon_a & 0 \\ -i\epsilon_a & \epsilon_c & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{\perp} \end{pmatrix}; \quad \tilde{\mu} = \begin{pmatrix} \mu_c & \mu_a & 0 \\ -i\mu_a & \mu_c & 0 \\ 0 & 0 & \mu_{\perp} \end{pmatrix},$$

где A — параметр, связанный с линейным расстоянием между атомами; β_0 — показатель, связанный с внутренними процессами в метаматериале; c — скорость света; ϵ_c — относительная диэлектрическая проницаемость; μ_c — относительная диэлектрическая проницаемость; ω_0 — резонансная частота.

Подобный метаматериал может быть реализован в оптическом диапазоне путем легирования атомов кирального ниобата лития в кварцевый контейнер. В этом случае тензор $\vec{\mu} = \vec{I}$.

В рамках построенной математической модели было проведено решение задачи о падении плоской электромагнитной волны линейной и круговой поляризации на планарный слой на основе бианизотропной среды. Доказано, что использование бианизотропного материала на основе кварца легированного ниобатом лития приводит к возможности частотно селективного преобразования нормально падающего оптического излучения на заданной частоте в боковое рассеяние. Также теоретически предсказано, что отражение и прохождение волны через метаматериал носит резонансный характер с периодически расположенными по частоте максимумами отражения и прохождения. В некоторых диапазонах частот структура полностью отражает падающую оптическую волну, в то время как на резонансных частотах — оптическая волна полностью проходит.

INVESTIGATION OF REFLECTION AND TRANSMISSION COEFFICIENTS FOR BIANISOTROPIC METAMATERIAL WITH DISPERSIONAL PROPERTIES

Rogova N. V.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The paper analyzes the interaction of a plane electromagnetic wave with a metamaterial based on a bianisotropic media. When solving the problem the dispersion of the dielectric permittivity according to the Drude model and the dispersion of the chirality parameter according to the Condon model were taken into account. As a result, a mathematical model of a bianisotropic medium based on the tensors of dielectric permittivity and magnetic permeability with dispersion properties was constructed.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ ТРЕХСЛОЙНЫЙ КИРАЛЬНЫЙ МЕТАМАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ КВАРЦА SiO_2 И ИСЛАНДСКОГО ШПАТА CaCO_3

Цилимбаев Н. А., Осипов О. В.

(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

Оптический метаматериал — это искусственно созданный материал путем внедрения компонентов (атомов другого химического соединения) в основное вещество. Если атомы внедряемого химического соединения обладают зеркально асимметричной пространственной конфигурацией, то метаматериал относится к классу киральных.

В данной работе предлагается способ создания киральных стекол, позволяющих концентрировать энергию оптических волн ИК диапазона на ряде дискретных частот. При создании кварцевых стекол необходимо придать им киральные свойства, то есть либо добавить зеркально асимметричные атомы других химических элементов, либо изменить соотношение концентраций левых и правых форм кристаллов кварца.

Киральное стекло описывается следующими материальными уравнениями с учетом дисперсии диэлектрической проницаемости по модели Друде и параметра киральности по модели Кондона:

$$\vec{D} = \left(\varepsilon_c + \frac{\beta_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} \right) \vec{E} \mp i \left[\frac{A\beta_0^2\omega}{c(\omega_0^2 - \omega^2)} \right] \vec{H};$$

$$\vec{B} = \vec{H} \pm i \left[\frac{A\beta_0^2\omega}{c(\omega_0^2 - \omega^2)} \right] \vec{E},$$

где A — параметр, связанный с линейным расстоянием между атомами; β_0 — показатель, связанный с внутренними процессами в метаматериале; c — скорость света; ε_c — относительная диэлектрическая проницаемость кварца; ω_0 — резонансная частота.

В данной работе было исследовано прохождение плоской электромагнитной волны оптического диапазона через три планарных киральных стекла, разделенных двумя воздушными камерами. Были определены векторы электромагнитного поля оптической волны в семи областях (3-ех киральных стеклах, двух внутренних воздушных камерах и двух внешних воздушных областях). Далее неизвестные коэффициенты отражения и прохождения находились из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), полученных из граничных условий на границах раздела всех областей. В результате численных расчетов была доказана возможность концентрации оптической энергии на некоторых длинах волн в видимой и ИК частях спектра. Этот факт объясняется явлением преобразования нормально падающего излучения в боковое рассеяние на данных частотах.

INVESTIGATION OF OPTICAL WAVE REFLECTION FROM A METAMATERIAL BASED ON QURTZ SiO_2 AND ICELANDIC SPAR CaCO_3 COMPOUNDS

Tsilimbaev N. A., Osipov O. V.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

In this paper we propose a method for creating chiral glasses that allow concentrating the energy of optical waves in the IR range, while visible waves pass through the glasses without absorption. The common principle of optical energy concentration is as follows.

**СЕКЦИЯ 3. ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМАХ**

УДК 621.396

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ СПУТНИКОВ ГЛОНАСС И GPS С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАНАРНОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ,

**РАСПОЛОЖЕННОЙ НА ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ
Бирюков В. В., Бисярин М. Н., Едоков Д. С., Малахов В. А.,
Щербаков В. В.**

*(ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»)*

В докладе рассмотрен алгоритм определения положения видимых спутников объединенной группировки ГЛОНАСС/GPS с использованием планарной антенной решетки.

Суть алгоритма расчета заключается в преобразовании данных эфемерид спутников ГЛОНАСС и GPS к географическим координатам (долгота и широта) с последующим перерасчетом их в координатную систему антенной решетки, которая в общем случае перемещается по заданной траектории. Изменением фазового распределения антенной решетки (положение которой известно) добиваются такой диаграммы направленности, чтобы максимум главного лепестка был направлен на видимый спутник.

Для проверки разработанного алгоритма была создана программа-имитатор для визуального контроля положения спутников, на языке программирования C#. В программе-имитаторе приведена карта Земли с символическими обозначениями спутников группировок ГЛОНАСС и GPS. Результат определения видимости спутников отражается на карте Земли при помощи цветовой индикации: зеленым маркируются спутники, видимые антенной решеткой, красным – невидимые.

Функционал разработанной программы позволяет строить трехмерную диаграмму направленности антенной решетки в направлении выбранного спутника. В программе присутствует возможность выбрать требуемый коэффициент усиления антенной

решетки, задать ширину диаграммы направленности и выбрать число излучателей, размещенных на антенной решетке (от 4 до 100), что в совокупности позволяет применять данную программу для анализа спутниковых группировок.

DETERMINING THE LOCATION OF GLONASS AND GPS SATELLITES USING A PLANAR ANTENNA ARRAY LOCATED ON AN AIRCRAFT

***Biriukov V. V., Bisyarin M. N., Edokov D. S., Malakhov V. A.,
Scherbakov V. V.***

*(“Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.
Alekseev”)*

In this article, we consider algorithm for determining the position of visible satellites of the GLONASS and GPS, the creation of application using the C# programming language, capable of determining satellites visible to the antenna array located near the Earth, belonging to the combined GLONASS / GPS constellation.

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ КАБЕЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ С ПРОВОДНИКАМИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Былина М. С.¹, Глаголев С. Ф.¹, Семенов А. Б.²

(¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича», ²НИУ «Московский государственный строительный университет»)

Для повышения гибкости симметричных кабелей для локальных сетей (кабели типа «витая пара») их жилы делают многопроволочными. Такая жила хуже держит форму по сравнению со сплошной. На рис. 1 представлена фотография одной из жил такого кабеля, приобретающая эллиптическую форму в результате деформации при производстве.

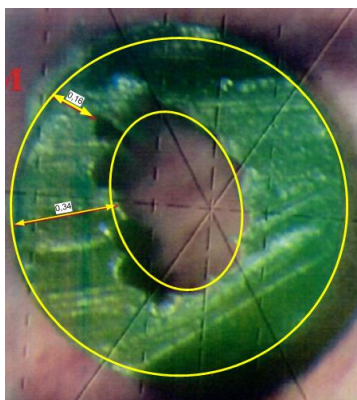


Рис. 1. Деформированная многопроволочная жила

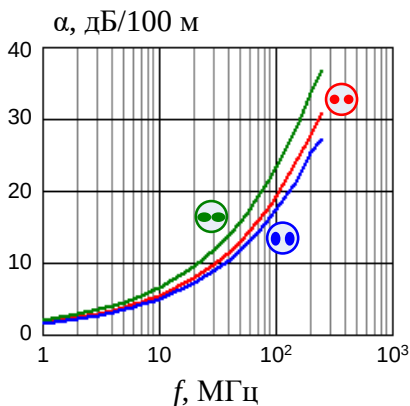


Рис. 2. Коэффициенты затухания О-пары и Э-пар с разной взаимной ориентацией жил

В работе представлены результаты расчетов коэффициентов затухания α и волновых сопротивлений кабельных цепей (КЦ), одна или обе жилы которых имеют эллиптическую форму. Показано, что

эти параметры зависят от взаимной ориентации деформированных жил в пространстве. На рис. 2 представлены результаты расчета зависимостей α от частоты f симметричных КЦ с эллиптическими жилами (Э-пар). Для сравнения представлена зависимость $\alpha(f)$ для обычной пары с жилами круглой формы (О-пары). Аналогичные расчеты проведены для волновых сопротивлений.

На частоте 100 МГц коэффициент затухания и волновое сопротивление для О-пары равны 19.3 дБ и 98.4 Ом соответственно, а для Э-пары составляют от 17.5 до 23.5 дБ и от 89.8 до 100.7 Ом в зависимости от взаимной ориентации жил. Таким образом, эллиптическая деформация проводников приводит к возрастанию степени неоднородности КЦ, так как взаимная ориентация скрученных жил меняется вдоль КЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bylina M., Semenov A. New Methodology and Results of the Calculation of the Linear Capacity of Two-Wire Circuits // Wave electronics and its application in information and telecommunication systems, 2019. DOI: 10.1109/WECONF.2019.8840662

TRANSMISSION PARAMETERS OF CABLE CIRCUITS WITH ELLIPTICAL CONDUCTORS

Bylina M. S.¹, Glagolev S. F.¹, Semenov A. B.²

*(¹ “The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of
Telecommunications”,*

² “Moscow State University of Civil Engineering”)

The paper presents the results of calculations of attenuation coefficients and wave resistances of cable circuits, one or both of whose cores have an elliptical shape. It is shown that the elliptical deformation of the conductors leads to an increase in the degree of inhomogeneity of the circuit, since these parameters depend on the mutual orientation of the deformed cores in space, which changes due to twisting.

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ШУМОПОДАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ С ПЬЕЗОДАТЧИКОВ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Григорьев Д. П., Телегин А. М.

*(ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский
университет имени академика С.П.Королева»)*

Удары микрочастиц, представляющие собой частицы природного и техногенного происхождения, о корпус космического аппарата, могут спровоцировать выход из строя отдельных узлов или всего спутника. Для решения задачи локализации места удара на корпусе космического аппарата, в работе [1] был выбран метод регистрации микрочастиц с использованием пьезодатчиков. Их время регистрации устанавливалось с помощью корреляционного метода, описанного в работе [1]. Была поставлена задача повышения точности локализации места удара, путем очистки первичного сигнала с пьезодатчиков с помощью интеллектуального фильтра, основанного на нейронной сети. Фильтрация сигнала позволяет повысить правильность определения временных задержек при использовании корреляционного метода (рисунок 1).

Для нейронного фильтра выбран язык программирования python с поддержкой высокоуровневого API Keras, работающего поверх библиотеки нейронных сетей TensorFlow. В качестве архитектуры нейронной сети выбрана последовательная модель с обратным распространением ошибки [2].

Нейронная сеть показала 99% степень сходимости идеального сигнала и отфильтрованного, следовательно, нейронную сеть можно применить в качестве фильтра, заменяющего распространенные конструкции согласованных фильтров.

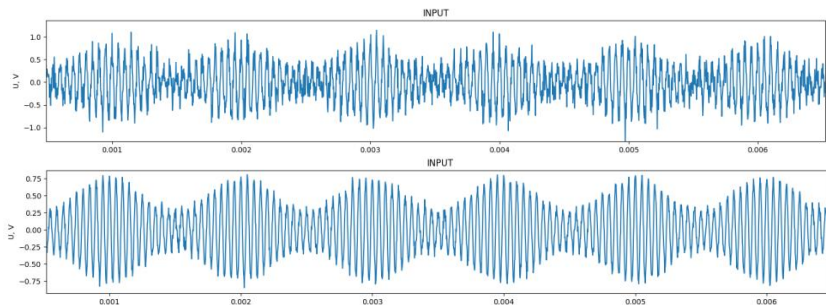


Рис. 1. Сигнал на входе и выходе нейронной сети спуска обучения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов К.Е., Григорьев Д.П., Телегин А.М. Исследование алгоритмов для системы контроля поверхности космического аппарата на основе пьезодатчиков // Авиакосмическое приборостроение. 2021. № 1. С. 40 – 50.
2. Аникеев М.В., Бабенко Л.К., Макаревич О.Б. Обзор современных типов нейронных сетей // Радиотехника, информатика, управління. 2001. №1. С. 48-56.

APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR NOISE REDUCTION OF SIGNALS FROM PIEZOELECTRIC SENSORS ON BOARD THE SPACECRAFT

Grigoriev D. P., Telegin A. M.

(“Samara National Research University”)

In this article presents a method for filtering amplitude-modulated signals from noise using a neural filter built in the python programming language. Neural Network use the TensorFlow neural network library and the Keras API. The presented results of the experiments performed showed successful signal filtering, as evidenced by further correlation analysis between the ideal signal and the filtered one.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО РЕЗОНАНСА СИСТЕМОЙ СВЯЗАННЫХ КОНТУРОВ

Капустин С. А., Раевский А. С.

*(ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»)*

В электродинамических направляющих структурах, которые описываются несамосопряженными операторами при парном возбуждении комплексных волн – волн с комплексными волновыми числами в отсутствии диссипации энергии, возникает явление, которое получило название комплексный резонанс. Представляют интерес различные способы математического описания этого физического явления. Одним из вариантов моделирования является рассмотрение процессов, происходящих в резонаторе в режиме комплексного резонанса, как системы замкнутых через источник контуров. Такая модель обусловлена тем, что природа собственных комплексных волн, образующих комплексный резонанс, объясняется распределенным разворотом мощности. Представим резонатор, выполненный на основе отрезка круглого двухслойного экранированного волновода, работающий в режиме комплексного резонанса, эквивалентной схемой, изображенной на рис. 1.

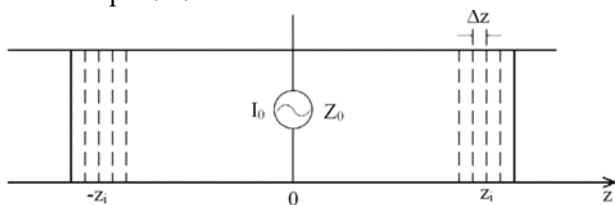


Рис. 1. Эквивалентная схема резонатора

На рисунке в сечении $z=0$ располагается источник, а в интервалах $z \in [0 \div \pm z_i]$ распределены контуры локальных потоков

мощности. Неоднородность поперечного сечения отрезка направляющей структуры представляется наличием в сечениях z_i идеальных отражателей. Комплексная амплитуда напряжения в i -ом контуре удовлетворяет уравнению:

$$\frac{d^2 u_i}{dz^2} + k_0^2 u_i = -Z_0 I_0 \delta(z),$$

решаемому при граничных условиях $u_i(\pm z_i) = 0$, где Z_0 – импеданс источника; I_0 – амплитуда тока источника; $k_0 = \omega\sqrt{\varepsilon\mu}$.

Используя функцию Грина, для каждого контура имеем полную ортонормированную систему собственных функций, применяя к которой условие ортогональности, и интегрируя по всем непрерывно распределенным контурам, в сечении источника имеем:

$$u(0) = I_0 Z_0 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2}{l_0} \int_0^{l_0} \frac{dz}{z \left[\left(\frac{(2n+1)}{2z} \pi \right)^2 - k_0^2 \right]} = \frac{I_0 Z_0}{l_0 k_0^2} \sum_{n=0}^{\infty} \ln \frac{\left(\frac{(2n+1)}{2} \pi \right)^2}{\left(\frac{(2n+1)}{2} \pi \right)^2 - k_0^2 l_0^2}.$$

Амплитуда по этой формуле вычисляется при условии $k_0 < \pi/2l_0$, которое определяет верхнюю границу существования комплексного резонанса.

SIMULATION OF A COMPLEX RESONANCE BY A SYSTEM OF COUPLED LOOPS

Kapustin S. A., Raevskii A. S.

(“*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.
Alekseev*”)

One of the variants of modeling the complex resonance arising in transversely inhomogeneous guiding structures is presented.

УДК 621.397.44

АКТУАЛЬНОСТЬ ОБЛАЧНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Кирпичникова М. Ю., Лукина Д. Д.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В последнее время, производители в сфере видеонаблюдения стали предлагать запись и хранение видеоархива на облачных сервисах памяти. Рассмотрим актуальность удаленного просмотра и облачного хранения видеоданных.

При подключении IP наблюдения требуется статический IP адрес и настройки маршрутизатора, а при подключении к камере из облака необходимо сделать несколько несложных изменений устройства или установить серверную программу на ПК. Также есть возможность просматривать видео-онлайн через веб-сайт сервиса напрямую.

В системах облачного хранения улучшается безопасность, так как видеоархив не привязан к конкретному месту и злоумышленники не смогут украсть или удалить видеоданные.

Хранение в облаке не имеет необходимость включения в локальную сеть и программы, которая контролирует запуск записи и качество изображения. В личных кабинетах возможна настройка внесения ID, после которого камеры видеонаблюдения, и все, облачные функции готовы к работе.

Сервисы облачного видеохраниения имеют свои индивидуальные особенности и совместимости с комплектующими камерами. Это может упростить создание системы видеонаблюдения, так как задача выбора системы может быть решена от выбора изначального облачного сервиса с его возможностями и подключаемым оборудованием.

Современные сервисы изначально разрабатываются для совместимости с Windows, Linux, Mac OS, Android, iOS.

Новейшие разработки облачных сервисов могут представлять в наборе видеоаналитику, например, активность, учет посетителей, временные характеристики, показатели и др.

Также в сервисах может поддерживаться передача данных в виде популярных форматов и протоколов, например, в формате MJPEG по HTTP-протоколу.

Разработчики применяют технологии, основанные на р2р, достоинством которой является максимально простое соединения с устройствами на удалении.

Таким образом, можно отметить следующие преимущества:

- 1) для видеонаблюдения не нужен видеорегистратор;
- 2) подключение осуществляется посредством интернета;
- 3) возможность подключения большого числа камер и видеоаналитики;
- 4) повышенная безопасность и возможность отсутствия или уменьшения обслуживающего систему персонала.

RELEVANCE OF CLOUD VIDEO SURVEILLANCE

Kirpichnikova M. Yu., Lukina D. D.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The work examines the relevance of cloud video surveillance, its advantages and possibilities.

ОБЗОР МЕТОДОВ ВЫЧИТАНИЯ ФОНА В ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИИ

Кирпичникова М. Ю., Щербовских Е. С.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Обнаружение движущихся объектов на видео могут быть использованы в технологии «компьютерного зрения» и это первый этап обработки изображения. Далее необходимо выполнить вычитание фона, то есть разделить фон видеоизображения и передний план.

Обычно эти операции выполняют конечные приложения, которые могут включать в себя много различных сред с разнообразными задачами и видами объектов.

Современные исследования сфокусированы на направлениях, использующих методы вычитания фона с математическими моделями, моделями машинного обучения, моделями обработки сигналов, а также с моделями классификации:

1) статистические модели, нечеткие модели и модели Демпстера-Шафера для математических понятий;

2) модели обучения подпространств либо реконструктивные, дискриминативные и смешанные, робастное обучение подпространств посредством матричного разложения или тензорные декомпозиции, надежное отслеживание подпространств, вспомогательные векторные машины, нейронные сети и глубокое обучение для концепций машинного обучения;

3) фильтр Винера, фильтр Калмана, фильтр коррентропии и фильтр Чебышева для моделей обработки сигналов;

4) алгоритмы кластеризации для моделей классификации [1].

Статистические, нечеткие модели и модели Демпстера-Шафера позволяют обрабатывать неточность, неопределенность и

неполноту данных, возникающие по разным причинам, а с помощью моделей машинного обучения можно изучать представление фоновых пикселей контролируемым или неконтролируемым образом. Модели обработки сигналов используются для оценки значения фона, а модели классификации позволяют классифицировать пиксели как фоновые или передние. Но на практике, в большинстве случаев, в реальных приложениях используются базовые или несложные методы (временная медиана, временная гистограмма и фильтр), а также устаревшие методы, требующие посредственных вычислений.

Это можно объяснить тем, что последние достижения науки сложно использовать из-за высоких требований к времени и памяти. Однако, ведутся постоянные разработки, направленные на применения новейших методов и построения более емких и быстродействующих систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бауманс Т., Бельмар Г. Вычитание фона в реальных приложениях: проблемы, текущие модели и будущие направления // Рукопись обзора информатики. 2019. №11. С.15 – 30.

METHODS FOR SUBTRACTING BACKGROUND IN VIDEO

Kirpichnikova M. Yu., Shcherbovskikh E. S.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

Overview and classification of background subtracting methods in video image.

УДК 621.397

ОЦЕНКА ЯРКОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Мясников Д. Л., Ложкин Л. Д.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Видеосигнал делится на пиксели, после чего ЭВМ определяет их цветность. Яркость нормируется в соответствии с названиями цветовых тонов, для системы ISCC – NBS. Далее определяется местоположение каждого пикселя и производится подсчет содержания конкретного цвета на принятом изображении. Это позволяет оценить изменения ситуации во времени, таким образом, увеличение количества «красных» или «серых» цветов будет информировать о появлении пожара.

Для пространства CIE 1976 $L^*a^*b^*$ или просто Lab (МКО 1976 г.) Светлота определяется координатой L . Изменение ее значения от 0 до 100 соответствует изменению изображения от темного к светлому.

Таким образом, формула для оценки яркостной характеристики в динамике будет выглядеть следующим образом:

$$L = 11,6 \cdot \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 1,6, \quad (1)$$

где L – искомая яркость, Y – координата цвета Y в системе координат (XYZ), Y_0 – координата опорного «белого» цвета, также в системе (XYZ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ложкин Л.Д. Дифференциальная колориметрия; под ред. Тяжева А.И. Самара: ПГУТИ, 2010. 320 с.

EVALUATION OF BRIGHTNESS PERFORMANCE IN THE SOFTWARE

Myasnikov D. L., Lozhkin L. D.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

For the space CIE 1976 $L^* a^* b^*$ or simply Lab. Lightness is determined by the L coordinate. A change in its value from 0 to 100 corresponds to a change in the image from dark to light.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОПРОСОВ ТОЧНОСТИ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ

Мясников Д. Л., Ложкин Л. Д.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Основные цвета, при рассмотрении объекта, цвета которого располагаются внутри треугольника цветового охвата (на хроматической диаграмме) должны удовлетворять некоторым требованиям: а именно, иметь правильные относительные количества (пропорции смеси) иначе невозможно будет создать необходимую цветность изображения, а также иметь правильные абсолютные количества яркости для обеспечения необходимой создания яркости изображения.

Для каждого элемента передаваемого оригинала и его изображения имеется зависимость, описанная следующими выражениями:

$$X_0 = k_1 X_{II}; \quad Y_0 = k_2 Y_{II}; \quad Z_0 = k_3 Z_{II}, \quad (1)$$

где k_1, k_2, k_3 – константы.

В формулах индекс «О» обозначает оригинал, а «II» – изображение.

Тогда координаты цветности будут равны:

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{X_0}{X_0 + Y_0 + Z_0} = \frac{k_1 X_{II}}{k_1 X_{II} + k_2 Y_{II} + k_3 Z_{II}}, \\ y_0 &= \frac{Y_0}{X_0 + Y_0 + Z_0} = \frac{k_2 Y_{II}}{k_1 X_{II} + k_2 Y_{II} + k_3 Z_{II}}, \\ z_0 &= \frac{Z_0}{X_0 + Y_0 + Z_0} = \frac{k_3 Z_{II}}{k_1 X_{II} + k_2 Y_{II} + k_3 Z_{II}}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Если условия (1.1) и $k_1 = k_2 = k_3$ выполняются, тогда цветность передаваемого объекта и изображение на экране будут колориметрически тождественны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ложкин Л.Д. Искажения цвета на экране телеприемника в зависимости от внешней засветки и метод коррекции этих искажений // Радиотехникаиэлектроника. 2012. № 7 (57). С. 1 – 6.

COLOR RENDERING ACCURACY RESEARCH

Myasnikov D. L., Lozhkin L. D.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

Investigation of the issues of color of the transmitted object and the image on the screen, and their colorimetric identity. Determination of chromaticity coordinates

УДК 681.518.5

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Куляс О. Л., Лошкарев А. С., Назаренко П. А.,

Никитин К. А., Сивков В. С.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Автоматизация контроля внутренней поверхности трубопроводов выполняется на основе специализированного программного обеспечения. Функции этого ПО определяются решаемыми задачами и включают в себя:

- ввод изображения от видеокамеры со сверхширокоугольным объективом, перемещающейся внутри трубопровода [1, 2],
- фиксацию кадров,
- их отображение в окне дисплея оператора контрольно-измерительной установки,
- построение панорамного изображения для каждого кадра,
- коррекцию геометрических искажений панорамы,
- компоновку единого изображения внутренней поверхности трубопровода из полученных панорам,
- управление направлением и скоростью перемещения камеры внутри трубопровода,
- включение освещения.

Кроме перечисленных выше функций поддерживаются вспомогательные операции:

- калибровка геометрических преобразований,
- установка режимов работы программы,
- сохранение и считывание файлов неподвижных кадров, видеопоследовательностей, панорам, таблиц геометрических преобразований, настроек программы.

Программное обеспечение разработано на языке Python,

имеет стандартный оконный интерфейс пользователя, содержащий главное меню для доступа ко всем основным функциям и окно отображения видеoinформации. В программном обеспечении широко используются библиотеки языка Python, в частности, библиотека обработки изображений и компьютерного зрения OpenCV. Отличительной особенностью разработанного ПО по сравнению с ранее созданным является то, что оно ориентировано на работу с IP-видеокамерой. В частности, используется камера компании Basler AG.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куляс О.Л., Назаренко П.А., Никитин К.А., Лошкарёв А.С. Формирование изображений внутренней поверхности труб // XVIII Международная научно-техническая конференция «Оптические технологии в телекоммуникациях» ОТТ-2020, Самара. 2020. С. 85 – 86.

2. Kulyas O.L., Loshkarev A.S., Nazarenko P.A., Nikitin K.A. Reconstruction of images in video analytics systems with ultra-wide angle optics // Optical Technologies for Telecommunications. 2019. 115161C.

SOFTWARE FOR CONTROL OF PIPELINES INNER SURFACE

Kulyas O. L., Loshkaryov A. S., Nazarenko P. A, Nikitin K. A., Sivkov V. S.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

Functions of the software for the control of the inner surface of pipelines are described. A distinctive feature of the developed software is that it is oriented to work with the IP-video camera of Basler AG.

УДК 621.396

БЛОК ПРИЕМОПЕРЕДАЧИ ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ В СОСТАВЕ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ СУБТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА

***Андреянов М. В., Бирюков В. В., Лискович А. П.,
Малахов В. А., Раевский А. С.***

*(ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»)*

Прогресс в системах для приема и передачи данных вызвал интерес к исследованию терагерцового диапазона. Поэтому становится актуальным вопрос тестирования и анализа специфики работы в малоосвоенной частотной области.

Для этих целей использовался макет субтерагерцовой радиорелейной линии, представленный в лаборатории микроволной электродинамики кафедры «Физика и техника оптической связи».

Блок приемопередачи цифровых данных состоит из отладочной платы, основной частью которой является программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), персонального компьютера (ПК), программы верхнего уровня и алгоритма работы ПЛИС.

Для рассматриваемой линии связи блок должен обладать высокой пропускной способностью, порядка 1 Гбит/с. Поэтому была выбрана отладочная плата фирмы Xilinx модели VC707 с ПЛИС семейства Virtex-7. На ней подключение к ПК осуществляется через интерфейс Ethernet. Алгоритм ПЛИС выполняет функции избыточного кодирования, непосредственную передачу информации на модулятор и корректирующий анализ данных.

Программное обеспечение (ПО) верхнего уровня, написанное на языке программирования C#, в совокупности с ПК, необходимо для формирования данных согласно определенному протоколу из мультимедийных файлов. ПО использует

вспомогательные библиотеки SharkPcap и PacketDoNet для формирования и обработки пакетов данных согласно протоколу Ethernet II.

Таким образом алгоритм ПЛИС в сопряжении с ПО верхнего уровня осуществляет передачу цифровой информации и ее анализ на приемной стороне линии связи.

DIGITAL DATA TRANSCEIVER UNIT AS PART OF THE SUBTERAHERTZ RADIO RELAY LINE

***Andrejanov M. V., Birjukov V. V., Liskovich A. P.,
Malahov V. A., Raevskij A. S.***

*(“Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.
Alekseev”)*

The article presents a variant of the implementation of a digital module for the formation and analysis of an information signal, coupled with the equipment of a radio relay line in the subterahertz range.

УДК 519.6

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ МАСКИРУЮЩИХ ХАОТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ МНОГОЛЕПЕСТКОВЫХ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНО-РЕЖЕКТОРНЫМИ ФИЛЬТРАМИ

Раунов Р. Р., Афанасьев В. В.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

Обеспечение подавления маскирующих хаотических сигналов нелинейных динамических систем является важной задачей при проектировании систем связи, построенных на основе динамического хаоса. Один из методов подавления состоит в применении функционально-режекторных фильтров.

Цель работы – оценка эффективности применения функционально-режекторных фильтров для подавления маскирующих хаотических сигналов.

Режекторный фильтр трехмерных сигналов, генерируемых системой с хаотической динамикой, представляет собой трехканальный цифровой фильтр, каналы которого обеспечивают селективное режектирование соответствующей компоненты [1].

Исследование селективного подавления режекторным фильтром проводится в программной среде Matlab путем оценки значения коэффициента подавления K_p , вычисляемого по отношению среднеквадратического отклонения (СКО) выходного сигнала к СКО входного сигнала режекторного фильтра.

Входной сигнал представляет собой смесь полезного фазоманипулированного сигнала, хаотического сигнала многолепестковой системы по схеме Jerk, а также белого шума.

На рис.1 представлен график зависимости коэффициентов K_p компонент X, Y, Z от числа отсчетов N, нормированных к периоду квазирезонансных колебаний, при прохождении сигналов через режекторный фильтр на основе интегрирования.

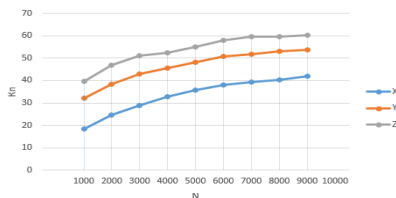


Рис.1. График зависимости Кп компонент X, Y, Z от числа отсчетов N

По результатам исследования установлено, что степень селективного подавления маскирующих сигналов многопестковой системы увеличивается по мере увеличения числа отсчетов и соответственно уменьшения шага интегрирования.

Кроме того, установлено, что интегральный подход к построению режекторных фильтров позволяет обеспечить более высокую степень подавления по сравнению с фильтрами, построенными на основе дифференцирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марданшин Э.Р., Афанасьев В.В. Преобразование фазоманипулированных сигналов фильтрами селективного подавления узкополосных помех и маскирующих псевдослучайных сигналов системы Лоренца // Инженерный вестник Дона. 2018. №2(49). С.49.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF SUPPRESSION OF MASKING CHAOTIC SIGNALS OF MULTI-SCROLL SYSTEMS BY FUNCTIONAL-REJECTION FILTERS

Raupov R.R., Afanasiev V.V.

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

Providing suppression of masking chaotic signals of nonlinear dynamic systems is an important task in the design of communication systems built on the basis of dynamic chaos.

OFDM – СИГНАЛЫ С ОГРАНИЧЕННЫМ СПЕКТРОМ

Дегтярев А. Н.^{1,2}, Афонин И. Л.^{1,2}, Тыщук Ю. Н.^{1,2},

Козуб М. С.²

(¹ФГБАУ ВО «Севастопольский государственный университет», ²Севастопольский «ИЦ «Омега» — филиал ФГУП НИИР)

В сетях 5G передача информации осуществляется с помощью OFDM сигналов. Спектральная плотность этого сигнала имеет вид совокупности эквидистантно смещенных функций вида $\sin(x)/x$. В силу этого в полосе пропускания каждого канала (Configuration Bandwidth) предусматриваются два защитных частотных интервала (Guardband). В результате чего полоса передачи (Transmission Bandwidth) становится уже, чем Configuration Bandwidth. Кроме того, для того, чтобы избежать межсимвольной интерференции (МСИ) между сигнальными символами вводят защитные временные интервалы. Таким образом, снижаются частотная эффективность системы и скорость передачи информации.

Предлагается на каждой поднесущей частоте OFDM сигнала передавать двумерные сигналы, модуль спектральной плотности которых имеет прямоугольную форму. Для описания сигналов, передаваемых на каждой поднесущей целесообразно использовать функции вида $\sin(x)/x$. Структурная схема приемника таких OFDM сигналов, может быть выполнена по схеме, предлагаемой в работе [3]. Такой подход к формированию OFDM сигналов позволит повысить частотную эффективность системы за счет уменьшения защитного частотного интервала и повысить скорость передачи информации за счет уменьшения временного защитного интервала.

Рассматриваются сигналы с модулем спектральной плотности прямоугольной формы. При этом считается, что сигналы занимают весь выделенный для передачи диапазон частот. Если элементарные сигнальные символы имеют вид взвешенных коэффициентами ± 1 функций отсчетов, то можно получить спектральные плотности, изменяющиеся по закону функций Уолша. Функции Уолша составляют полный координатный базис, который можно использовать для передачи сигналов. Кроме того, использование в качестве сигнальных символов таких базисных функций позволяет организовать прием сигнала в целом, что повышает помехоустойчивость приема. Показано, что автокорреляционные функции (АКФ) таких сигналов обладают свойством отсечности.

Структурная схема приемника OFDM сигналов, сформированных на основе такого базиса может быть выполнена по схеме приемника, оптимального по критерию идеального наблюдателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. К.: «ЕКМО», 2009. 672 с.

OFDM SIGNALS WITH A LIMITED SPECTRUM

**Degtyarev A. N.^{1,2}, Afonin I. L.^{1,2}, Tyschuk Yu. N.^{1,2},
Kozub M. S.²**

*(¹ “Sevastopol State University”, ² “Sevastopol “Testing center
“Omega” – branch of NIIR”)*

Abstract. It is proposed to use sample functions that have a limited spectrum as a model of signal symbols. It is assumed that this will eliminate the protective time and frequency intervals that are introduced in the 5G system.

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ РАЗНЫМИ ВАРИАНТАМИ СХЕМ

Тяжеев А. И.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Цифровые системы описываются системными функциями $W(z)$ порядка m , которые при четных m можно представить в виде произведения или в виде суммы из $m/2$ системных функций цифровых биквадратных звеньев, которые описываются выражением

$$W_i(z) = \frac{B_{0i} + B_{1i}z^{-1} + B_{2i}z^{-2}}{1 + A_{1i}z^{-1} + A_{2i}z^{-2}}. \quad (1)$$

Коэффициенты в числителе и знаменателе (1) определяются через коэффициенты исходной системной функции по разным алгоритмам при последовательном соединении и при параллельном соединении звеньев. Системной функции (1) соответствует следующее разностное уравнение (индекс i опущен):

$$y(n) = B_0x(n) + B_1x(n-1) + B_2x(n-2) - A_1y(n-1) - A_2y(n-2). \quad (2)$$

Вычисление этого разностного уравнения осуществляется по схеме цифрового звена, приведенной на рис.1а., ее называют прямой схемой. Блоки z^{-1} – это регистры, на них реализуют линию задержки отсчетов цифровых сигналов. Выражение (1) можно представить в виде произведения нерекурсивной и рекурсивной части схемы. Так как от перестановки сомножителей произведение не меняется, то прямая схема цифрового звена второго порядка на рис.1а. преобразуется в схему на рис. 1б., она получила название канонической, в ней число элементов задержки в 2 раза меньше, чем в схеме на рис. 1.а. На рис. 1.в приведена третья схема цифрового звена в пространстве состояний.

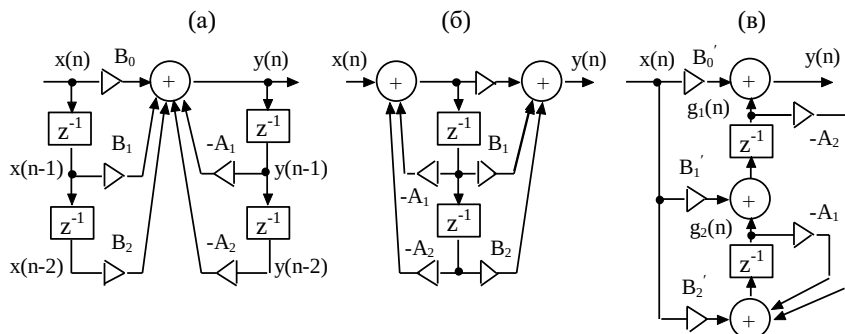


Рис. 1. Три эквивалентные структурные схемы цифрового биквадратного звена: прямая (а), каноническая (б) и в пространстве состояний (в)

CONSTRUCTION OF DIGITAL SYSTEMS BY DIFFERENT CIRCUIT VARIANTS

Tyazhev A. I.

(*"Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics"*)

The paper presents the principles of building digital systems using different circuit variants.

УДК 621.37

ПРОГРАММНАЯ И АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ

***Макарычев Н. А., Назаров А. В., Османов Р. Р.,
Рыбаков Д. К., Царев Б. Ю.***

(Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седякова»)

Одним из основных узлов радиолокационного датчика подвижных целей является блок цифровой обработки (БО). Главной задачей блока является анализ сигнала биений и обнаружение объекта, от которого происходит отражение радиосигнала, в заданном диапазоне дальностей.

Данный узел отвечает за корректную работу всего датчика в целом. В связи с этим возникает необходимость контроля характеристик БО при проведении натурных испытаний датчика.

Работа БО с дополнительным узлом контроля параметров (блоком телеметрии), иллюстрируется обобщенной структурной схемой, представленной на рисунке 1.

Входным информационным сигналом блока цифровой обработки является сигнал частоты биений [1]. Внутри блока обработки определяется расстояние до объекта обнаружения (измеряемый параметр). Выходным информационным сигналом является сигнал об обнаружении объекта, если расстояние попадает в заданный диапазон дистанций. Данный параметр передается в блок телеметрии, под управлением которого производится запись полученной величины во внешнюю флэш-память.

Алгоритм цифровой обработки сигналов радиолокационного датчика подвижных объектов и телеметрии реализован с использованием САПР Quartus II WebEdition на программируемой логической интегральной схеме фирмы Altera с

использованием микросхемы энергонезависимой памяти фирмы Atmel.

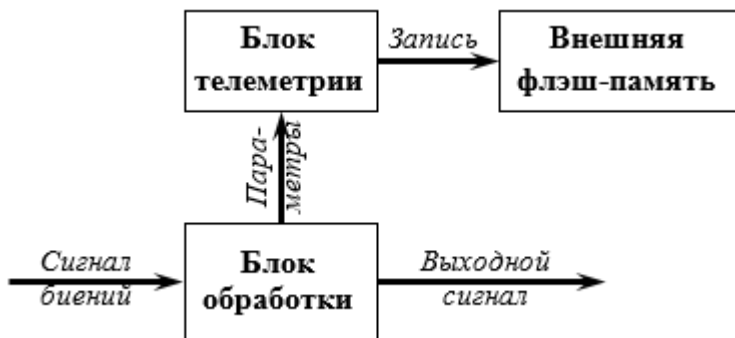


Рис. 1. Обобщенная структурная схема реализации телеметрии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климашев Б.М., Петров И.П. Устройства ближней радиолокации с непрерывными сигналами. Метод. пособие. Куйбышев, 1974. 51 с

SOFTWARE AND HARDWARE IMPLEMENTATION OF RADAR SENSORS EQUIPMENT MONITORING

**Makarichev N. A., Nazarov A. V., Osmanov R. R.,
Rybakov D. K., Tsarev B. Yu.**

*(“Branch of FSUE RFNC VNIIEF NIIS named after Yu.E.
Sedakova”)*

The operation algorithm of digital processing unit of the radar sensors is described. The software and hardware implementation method of radar sensors is presented.

УДК 621.396.67

АНАЛИЗ ДОСТОИНСТВ ПЕЧАТНЫХ ГРАФЕНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗРАБОТКЕ АНТЕННЫХ СИСТЕМ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ДЕЦИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ СОТОВЫХ ОПЕРАТОРОВ (LTE, GSM, 5G)

Черевко А. Г., Моргачев Ю. В.

(ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

В настоящий момент область гибкой электроники Интернета вещей претерпевает экспоненциальный рост. Из-за быстрого увеличения количества подключенных устройств возникает необходимость в разработке экологически чистых элементов устройств Интернета вещей, в том числе антенн.

В данном докладе рассмотрены характеристики и устойчивость к внешним воздействиям гибких графеновых антенн, а также рассмотрены влияния одиночных изгибов и циклических изгибов при различных длительностях циклов.

Представлен дизайн нашей гибкой графеновой антенны, и приведено сравнение характеристик, полученных нами с результатами других авторов. Примером служит сравнение основополагающей характеристики – коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) дипольных антенн [1] и нашей [2] (рис. 1). Для учета отличия частотных диапазонов двух антенн по оси абсцисс отложена нормированная частота (f/f_{min}), здесь (f_{min}) – частота минимума КСВН).

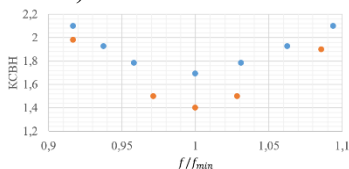


Рис. 1. Сравнение КСВН дипольной антенны, разработанной нами (●, [2]) с КСВН (●) дипольной антенны, представленной в [1].

В ходе работы над прототипом двухслойной графеновой антенной LTE диапазона была замечена неоднородность поверхностного сопротивления. В докладе будет представлена зависимость $|S_{11}|$ от изменения поверхностного сопротивления на краях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Huang X. Binder-free highly conductive graphene laminate for low cost printed radio frequency applications // Applied Physics Letters. 2015. Vol. 20. P. 203105.
2. Cherevko A. Graphene Antenna on a Biodegradable Substrate for Frequency Range of Cellular Operators // XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). 2018. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545820

ANALYSIS OF THE ADVANTAGES OF PRINT GRAPHENE TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF ANTENNA SYSTEMS FOR THE INTERNET OF THINGS IN THE DECIMETER RANGE OF CELLULAR OPERATORS (LTE, GSM, 5G)

Cherevko A. G., Morgachev Y. V.

*(“Siberian State University of Telecommunications and
Information Science”)*

The characteristics and resistance to external influences of flexible graphene antennas are considered, and the effects of single bends and cyclic bends at various cycle times are considered. The design of our flexible graphene antenna is presented, and the characteristics obtained by us are compared with the results of other authors. The report will present the $|S_{11}|$ dependence from changes in surface resistance at the edges.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НАНЕСЕНИЯ ГРАФЕНА ДЛЯ МИЛЛИМЕТРОВОЙ И СУБМИЛЛИМЕТРОВОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА (5-6G)

Черевко А. Г., Моргачев Ю. В.

*(ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В данный момент происходит активное освоение новых частотных диапазонов (миллиметровый и субмиллиметровые части спектра) из-за внедрения стандарта 5G и изучения сетей 6G [1]. Это приводит к тому, что появляется необходимость в разработке гибких антенн для данных частотных диапазонов (Рис. 1).

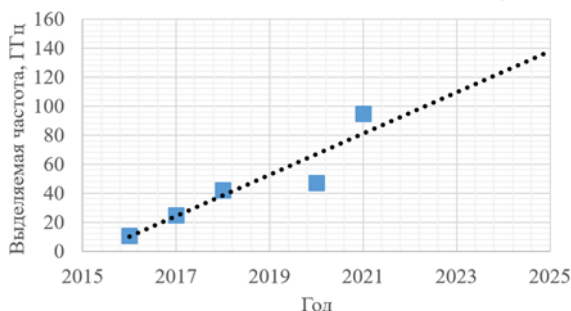


Рис. 1. Выделяемые частотные диапазоны федеральной комиссии по связи (США) (синие прямоугольники) и линейная интерполяция (черная пунктирная линия), показывающая наблюдаемый рост частот

Целесообразно использовать для данных целей графен, поскольку на его основе возможно изготавливать экологичные гибкие антенны. В данном докладе определяются минимальных и максимальных частот, для которых возможно изготовление гибких графеновых антенн, с помощью различных технологий нанесения графена.

В докладе проведен сравнительный анализ возможности применения различных технологий нанесения графена для

изготовления антенн миллиметрового и субмиллиметрового диапазона частот. Для выполнения данного анализа был введен параметр критического размера. На его основании определены минимальные и максимальные частоты, для которых возможно изготовление гибких графеновых антенн, с помощью рассмотренных технологий нанесения графена.

Представлен дизайн и характеристики графеновой экологичной дипольной антенны на бумажной подложке, которая изготовлена с помощью применения технологии трафаретной печати. Проведена оценка применимости использованной технологии для изготовления элементов интернета вещей, работающих в миллиметровом диапазоне частот 5G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rappaport T. Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 78729-78757.

PROSPECTS FOR USING GRAPHENE APPLICATION TECHNOLOGIES FOR THE MILLIMETER AND SUBMILLIMETER PARTS OF THE SPECTRUM (5-6G)

Cherevko A.G., Morgachev Y.V.

*(“Siberian State University of Telecommunications and
Information Science”)*

This report defines the minimum and maximum frequencies for which flexible graphene antennas can be fabricated using various graphene deposition technologies. A comparative analysis of the possibility of using various technologies for deposition of graphene for the manufacture of antennas in the millimeter and submillimeter frequency ranges is carried out.

**СЕКЦИЯ 4. УСТРОЙСТВА СВЧБ АНТЕННЫ,
РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ**

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ТРЕХЗВЕННОГО СТУПЕНЧАТОГО СВЧ-ФИЛЬТРА С ЧЕБЫШЕВСКОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Арефьев А. С.

(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

Функция рабочего затухания трехзвенного ступенчатого чебышевского СВЧ-фильтра задается соотношением [1]

$$L = 1 + h^2 T_3^2 \sin \left[\frac{\sin(\theta)}{S} \right], \quad (1)$$

где θ – электрическая длина звена, h и S – амплитудный и масштабный множители, $T_3(x)$ – многочлен Чебышева первого рода третьего порядка. Получены следующие выражения для волновых сопротивлений звеньев, соответствующие двум решениям задачи синтеза фильтра:

$$\rho_1^{(1)} = \rho_0 \sqrt{\psi^{(1)}} \left(\left[\sqrt{\left(3 \frac{h}{S} - \frac{\psi^{(1)}}{2} \right)^2} + \left(6 \frac{h}{S} - \frac{\psi^{(1)}}{2} \right) \frac{\sqrt[3]{h}}{S} \xi + \frac{h^{2/3}}{S^2} \xi^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\psi^{(1)}}{2} - 3 \frac{h}{S} - \frac{\sqrt[3]{h}}{S} \frac{\xi}{2} \right]^{1/2} + \sqrt{\frac{\psi^{(1)}}{4} + \frac{\sqrt[3]{h}}{S} \frac{\xi}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\psi^{(1)}}} \right), \quad (2)$$

$$\rho_3^{(1)} = \rho_1^{(1)}, \rho_2^{(1)} = (\rho_1^{(1)})^2 / (\psi^{(1)} \rho_0),$$

$$\rho_j^{(2)} = \rho_0^2 / \rho_j^{(1)}, (j = \overline{1, 3}).$$

Здесь ρ_0 – волновое сопротивление линии передачи, в которую включен фильтр,

$$\psi^{(k)} = \sqrt{1 + h^2 T_3^2 (1/S)} + (-1)^k h T_3 (1/S), (k = \overline{1, 2}), \quad (3)$$

$$\xi = \left(\sqrt[3]{\sqrt{1+h^2}+1} - \sqrt[3]{\sqrt{1+h^2}-1} \right)^2. \quad (4)$$

Соответствующие этим решениям фильтры имеют одинаковые фазо–частотные характеристики. Показано, что задача синтеза фильтра не имеет других решений, удовлетворяющих условию $\rho_1 = \rho_3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р. Синтез четырехполосников и восьмиполосников на свч. М.: Связь, 1971. 388 с.

ANALYTIC SOLUTION OF PROBLEM OF SYNTHESIS OF THREE–LINK STEPPED MICROWAVE FILTER WITH CHEBYSHEV’S FREQUENCY RESPONSE

Aref’ev A. S.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

It is demonstrated, that the problem of synthesis of three–link stepped Chebyshev’s microwave filter has two symmetric solutions. These solutions have equal wave impedances of the first and last links. The expressions for wave impedances of filter links are derived. The results of computation of wave impedances are brought.

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ
ИМПУЛЬСОВ НАД ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД*****Бажанова О. В., Бобрешов А. М., Завалишина О. Н.,******Степкин В. А., Титов К. Д., Усков Г. К.****(ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»)*

Хорошо известны работы, связанные с исследованием распространения сверхширокополосных импульсных сигналов в свободном пространстве, например, [1]. Однако вопросы учета влияния поверхности, разделяющих две среды, остаются не до конца изучены. В качестве такой границы раздела двух сред на практике может выступать подстилающая поверхность Земли, железобетонные перекрытия и т. п. Постановка рассматриваемой в задачи сводится к следующему. Пусть напряженность поля волны на некотором расстоянии от излучателя описывается гауссовским

моноциклом:
$$E(t) = E_{m0} \cdot \frac{t - t_0}{\tau} \exp\left(-\frac{(t - t_0)^2}{\tau^2}\right).$$
 В качестве

указанного расстояния используется граница дальней зоны, а момент времени t_0 – задержка относительно момента излучения, связанная с распространением на это расстояние. Высоты передающей и приемной антенн относительно границы раздела – h_1 и h_2 соответственно; расстояние между антеннами – r .

Для решения таких задач, ввиду удобства, часто применяется математический аппарат Фурье преобразований. Каждая спектральная составляющая сигнала рассматривается как самостоятельная гармоническая волна, амплитуда и фаза которой изменяется при распространении в зависимости от геометрии рассматриваемой задачи. Тогда поле в точке приема представляет собой результат интерференции всех спектральных составляющих.

В зависимости от соотношений между высотами антенн, длиной волны рассматриваемой отдельной гармонической

составляющей и расстоянием между антеннами, эффекты, связанные с наличием раздела двух сред, проявляют себя по-разному: для больших длин волн превалирует затухание в среде, находящейся под поверхностью, для малых – отражение от раздела двух сред. Основываясь на представлениях о зонах Френеля, в работе предложено выражение для определения значения частоты спектральной составляющей, разграничивающей указанные

эффекты: $f_{cp} = m \cdot \frac{c \cdot r}{(h_1 + h_2)^2}$, где c - скорость света, $m < 1$.

Используя известные выражения [2] для обеих частей спектра и обратное Фурье преобразование, была разработана программа для вычисления результирующего поля в точке наблюдения. Произведен анализ полученных результатов и сравнение с известными экспериментальными данными.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00323.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стадник А.М., Ермаков Г.В. Искажения сверхширокополосных электромагнитных импульсов в атмосфере Земли // Радиотехника и электроника. 1995. Т. 40. №7. С. 1009 – 1016.
2. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. М.: Связь, 1972. 335с.

ULTRA-WIDEBAND PULSES PROPAGATION OVER THE SURFACE

Bazhanova O. V., Bobreshov A. M., Zavalishina O. N., Stepkin V. A., Titov K. D., Uskov G. K.
 (“Voronezh State University”)

The issue of UWB pulses propagation over the surface is considered.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ МНОГОЭЛЕМЕНТНОЙ ПЛОСКОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

***Бирюков В. В., Бисярин М. Н., Едоков Д. С., Малахов В. А.,
Щербаков В. В.***

*(ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»)*

В докладе рассмотрен алгоритм формирования диаграммы направленности (ДН) многоэлементной плоской антенной решетки (АР), максимум главного лепестка которой направлен на навигационный космический аппарат (НКА). Изменяя фазовое распределение многоэлементной плоской АР, меняем направление главного лепестка. Это позволяет, зная положения НКА направить луч АР на него.

Суть алгоритма построения ДН плоской АР заключается в использовании теоремы перемножения характеристик направленности. Она гласит, что ДН АР может быть представлена в виде произведения ДН одиночного элемента на множитель направленности системы, состоящей из изотропных излучателей, который учитывает число элементов, их способ размещения и амплитудно-фазовое распределение АР.

Учет направленных свойств планарного элемента был произведен путем домножения множителя направленности системы на функцию вида: $k \cdot \cos^n \theta$, где амплитудный множитель k находится при задании коэффициента усиления (КУ) в дБ, а степенной показатель n определяется при задании ширины ДН по уровню -3 дБ ($2\Delta\theta_{0,707}$) из выражения: $\cos^n \Delta\theta = 1/\sqrt{2}$.

Для визуализации разработанного алгоритма была создана программа на языке программирования C#. В программе

предусмотрен ввод координат НКА (углы θ и φ), числа элементов АР (с возможностью выбора от 4 до 100), характеристик излучателей АР: КУ в дБ и ширины ДН по уровню -3 дБ.

Таким образом, была разработана программа для наглядного представления характеристик АР в зависимости от задаваемых пользователем входных параметров. На рисунке 1 приведена трехмерная ДН 100-элементной АР в направлении $\theta=30^\circ$, $\varphi=45^\circ$.

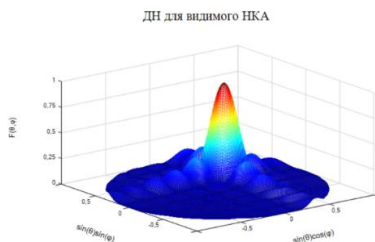


Рис. 1. ДН 100-элементной АР в направлении $\theta=30^\circ$, $\varphi=45^\circ$

SOFTWARE MODULE FOR VISUALIZATION OF THE RADIATION PATTERN OF A MULTI-ELEMENT FLAT ANTENNA ARRAY

Biriukov V. V., Bisyarin M. N., Malakhov V. A., Edokov D. S., Scherbakov V. V.

(“Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev”)

The article considers the possibility of visualization of the antenna array radiation pattern taking into account the properties of a single element.

УДК 623.746:621.396.677.3

ДИАГРАММЫ РАССЕЯНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦИЛИНДРОВ С МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Разиньков С. Н., Богословский А. В.

(ФГКВОВУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина»)

Анализ диаграмм рассеяния (ДР) круглых диэлектрических цилиндров конечной длины с регулярным радиусом поперечного сечения при частичной и полной металлизации боковых поверхностей проведен с использованием программы (среды) электродинамического моделирования Computer Simulation Technology Microwave Studio (CST MWS) [1]. Распределение токов, используемое в качестве начального приближения, находилось путем решения задачи возбуждения цилиндра электрическим полем стороннего источника методом наведенных токов [2]. Расчет поляризационных компонентов поля и ДР цилиндров в CST MWS осуществлялся при активации встроенного вычислителя Frequency Domain Solver, выполняющего функции автоматической генерации координат узлов сетки с прямоугольными и тетраэдральными ячейками для представления области поиска решения краевой задачи массивом дискретных фрагментов. В зонах дискретизации комплексные амплитуды токов находились методом моментов при частичном обращении операторов краевых задач с применением интегрального вычислителя Integral Equation Solver.

В работе рассчитаны ДР цилиндров из диэлектрического материала со следующими видами металлизации:

- вид № 1 – полная металлизация боковой поверхности;
- вид № 2 – частичная металлизация в области с угловой шириной $\alpha = 20^\circ$ вдоль образующей;
- вид № 3 – частичная металлизация в области с угловой

шириной $\alpha = 20^\circ$ при равном удалении границ от торцов на расстояния, составляющие 10% от длины образующей.

Из полученных результатов следует, что в секторе углов шириной 60° распределение вторичного поля диэлектрического цилиндра с частично металлизированной поверхностью по форме близко к ДР идеально проводящего объекта равных электрических размеров. Максимумы ДР цилиндров с металлизацией вида № 2 и № 3 сосредоточены в секторах пространства, противоположных области металлизации.

Время расчета ДР цилиндров с идеально проводящими покрытиями сокращается по сравнению с показателями, требуемыми для моделирования частично металлизированных поверхностей, примерно в 6 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. М.: МЭИ, 2011. 155 с.
2. Разиньков С.Н., Богословский А.В., Борисов Д.Н. Исследование направленных свойств решеток элементарных электрических вибраторов на круглых идеально проводящих цилиндрах конечной длины // Радиотехника. 2020. №2 (3). С. 46-54.

DIELECTRIC CYLINDER SCATTERING DIAGRAMS WITH SURFACE METALLIZATION

Razinkov S. N., Bogoslovsky A.V.

*(Military Educational and Scientific Centre “Air Force Academy
named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”)*

Based on the results of computer modeling, a comparative analysis of the reflective properties of finite-length cylinders with different degrees of metallization was carried out.

УДК 623.746

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПАССИВНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ПРИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ

Богословский А. В., Разиньков С. Н.

(ФГКВООУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина»)

Для пространственной селекции радиоизлучений с перекрывающимися по значениям параметрами в комплексах пассивной радиолокации (ПРЛ) реализуются алгоритмы определения местоположения их источников. Координатная информация, инвариантная к контрастности демаскирующих признаков в текущий момент времени, позволяет достичь устойчивости процедур распознавания объектов при смене режимов работы и применении мер радиомаскировки.

В комплексе ПРЛ, размещаемом на борту беспилотного летательного аппарата, местоположение излучателей может оцениваться по результатам многократного пеленгования на маршруте полета. Разработка способа местопределения включает в себя построение схем оптимизации траекторий движения мобильных пеленгационных постов [1, 2].

В предлагаемой работе на основе линейной фильтрации оценок угловых координат источников радиоизлучений построены процедуры нахождения направлений движения комплексов ПРЛ в поворотных пунктах маршрутов (ППМ) в соответствии со следующими критериями:

- критерий № 1 – минимизация среднеквадратических ошибок (СКО) определения местоположения объектов при различных значениях апостериорной точности оценки угловых координат в каждом ППМ;

- критерий № 2 – минимизация времени выхода комплекса ПРЛ в район размещения источника радиоизлучения при ограничениях на точность пеленгования.

Установлено, что наименьшая СКО местоопределения объектов достигается при движении комплекса ПРЛ по траектории в виде спирали [1]. Для минимизации времени выхода в позиционный район комплекс ПРЛ должен осуществлять барражирование по траектории в виде плоской замкнутой кривой (лемнискаты) с дугами различного радиуса при неравноточных оценках направлений прихода сигналов в ППМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разиньков С.Н., Богословский А.В. Оптимизация маршрутов полета беспилотных летательных аппаратов при местоопределении источника радиоизлучения по оценкам угловых координат с их бортов // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2015. Т. 18. № 4. С. 22-26.

2. Разиньков С.Н., Богословский А.В., Лукин М.Ю. Среднеквадратическая ошибка местоопределения излучателей сверхширокополосных сигналов в псевдотриангуляционных системах // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2018. Т. 16. № 4. С. 23-29

OPTIMIZATION OF MOVEMENT ROUTES OF UNMANNED PASSIVE RADAR COMPLEXES AT LOCATION OF RADIO EMISSION SOURCES

Bogoslovsky A. V., Razinkov S. N.

*(Military Educational and Scientific Centre “Air Force Academy
named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”)*

Optimization of movement routes of unmanned passive radar complexes at determination of coordinates of objects is executed.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОГЛАСОВАННОЙ СВЧ-НАГРУЗКИ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ, ОХЛАЖДАЕМОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Бударагин Р. В.¹, Киселев Д. И.², Приходько Д. В.¹

*(¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева», ²«Научно-
производственное предприятие Юнион»)*

Создание нагрузок большой мощности, работающих в широком диапазоне частот вызывает определенные трудности, связанные с необходимостью внесения в конструкцию дополнительных конструктивных и технологических решений, обеспечивающих необходимый уровень теплоотдачи при хорошем согласовании нагрузки с СВЧ-трактом. В докладе на основе строгого электродинамического метода [1] производится расчет, и приводятся результаты проектирования согласованной СВЧ-нагрузки большой мощности, охлаждаемой водой (рис.1).

Области I, II, III – коаксиальные волноводы. В области IV происходит поглощение СВЧ-энергии и преобразование ее в тепловую энергию охлаждающей жидкости.

Поле дифракции в волноводе I представим в виде падающей *T*-волны и бесконечного набора отраженных собственных волн коаксиального волновода. Поле дифракции в областях II и III, запишем в виде бесконечного набора падающих и отраженных собственных волн этого волновода. В области IV поле представим в виде бесконечного набора стоячих волн четырехслойного круглого экранированного волновода.

Записываем условия непрерывности тангенциальных составляющих полей на границах рассматриваемых волноводов I-IV, и умножая на соответствующие компоненты полей собственных волн регулярных волноводов, интегрируем по сечению соответствующего регулярного волновода. В результате, получаем

систему линейных алгебраических уравнений относительно амплитуд волн в каждой области. Решая данную систему уравнений, находим искомые коэффициенты

На основе предложенной электродинамической модели определены оптимальные геометрические размеры, при которых КСВН нагрузки в рабочем частотном диапазоне (от постоянного тока до 1300 МГц) будет наименьшим (рис.2).

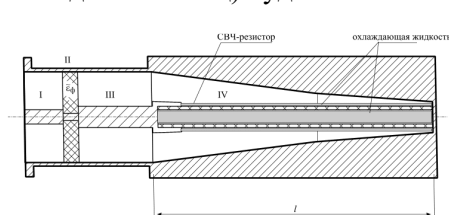


Рис. 1.

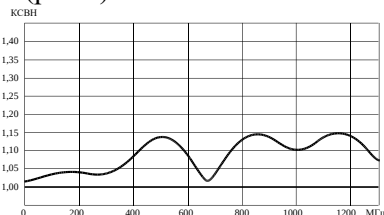


Рис.2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бударагин 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 AND DESIGN OF A CONSISTENT HIGH-POWER MICROWAVE LOAD COOLED BY A LIQUID

Budaragin R. V.¹, Kiselev D. I.², Prihodko D. V.¹

(¹ "Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev", ² "Research and Production Enterprise Union")

A method for calculating a matched coaxial load of high power of the microwave range cooled by a liquid is proposed. The results of calculation and optimization of the product parameters are presented.

УДК 621.396.67

РЕАЛИЗАЦИЯ ПАРЦИАЛЬНОЙ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ИЗЛУЧАТЕЛЯ, РАСПОЛАГАЕМОГО НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ОБЪЕКТА СЛОЖНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

**Бузов А. Л.¹, Бондарь П. И.¹, Котков К. В.¹, Минкин М. А.¹,
Нарышкин И. М.²**

(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

*²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

При расположении антенн и антенных комплексов подвижной радиосвязи УКВ диапазона, как правило, используются высотные сооружения, позволяющие обеспечивать большую зону покрытия [1]. Прежде всего, это специально оборудованные мачты сотовой связи и телевизионные башни.

Для моделирования было рассмотрено здание сложной конфигурации, поперечное сечение которого представляет собой пятиугольник неправильной формы (рис.1).

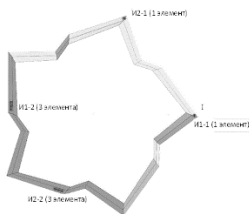


Рис.1. Внешний вид модели части здания сложной конфигурации

Для достижения равномерной диаграммы направленности в работе предложена антенная решетка, состоящая из двух пар излучателей, работающих независимо друг от друга для 6 независимых каналов.

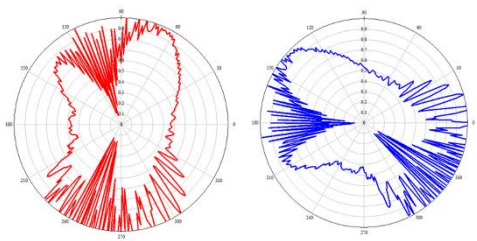


Рис.2. Диаграмма направленности для двух пар излучателей

При совместной работе двух пар излучателей полученная диаграмма направленности практически не имеет провалов (рис.2). Суммарная зона покрытия образует полный круг, где абонентам гарантированно предоставляется от 2 до 4 частотных каналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л. Пути повышения качества радиопокрытия зон обслуживания в профессиональных системах подвижной радиосвязи // Радиотехника. 2016. № 2. С. 114 – 119.

IMPLEMENTATION OF A PARTSIAL DIRECTIONAL DIAGRAM OF A RADIATOR LOCATED AT DIFFERENT AREAS OF AN OBJECT OF DIFFICULT CONFIGURATION

**Buzov A. L., Bondar P. I., Kotkov K. V., Minkin M. A.,
Naryshkin I. M.**

(¹JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,

*²“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

Achieving a uniform radiation pattern in all directions when placing antennas on objects of complex configuration is achieved by implementing an antenna array of 2 pairs of independent radiators.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКРАНА ИЗ МЕТАМАТЕРИАЛА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РАЗВЯЗКИ МЕЖДУ АНТЕННАМИ УДА-ЯГИ

Бузов А. Л.¹, Бузова М. А.¹, Носов Н. А.¹, Шляхов А. В.²

(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

*²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

При размещении большого количества разнообразных антенн в ограниченном пространстве необходимо как контролировать выполнение требований к характеристикам антенн по назначению, так и обеспечивать требования электромагнитной совместимости (ЭМС) и безопасности системы в целом [1]. В связи с этим рассматриваемые задачи актуальны и в настоящее время.

При этом в сложных антенных системах присутствуют антенны различных типов, включая как направленные, так и ненаправленные [1]. И, хотя развязку между направленными антеннами обеспечить легче, чем между ненаправленными, и тот, и другой случай заслуживают, на взгляд авторов, отдельных исследований.

Ранее авторами уже рассматривались вопросы повышения развязки между ненаправленными вибраторами [2]. В данном докладе рассматривается задача повышения развязки между направленными антеннами типа Уда-Яги. На рисунке 1 представлены некоторые результаты расчетов, а именно распределение наведенных токов в рассматриваемой электродинамической системе, а также диаграмма направленности (ДН) активной трехэлементной антенны Уда-Яги. Данные результаты представлены для частоты 680 МГц, на которой с помощью использования экрана из метаматериала обеспечивается развязка -50 дБ, что на 10 дБ лучше, чем развязка между этими же антеннами в свободном пространстве.

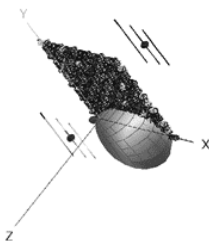


Рис. 1. Распределение токов в системе и ДН антенны Уда-Яги

В данном докладе показано, что экран из метаматериала способен улучшать развязку также направленными антеннами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы расчета характеристик внутриобъектовой электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств: учебное пособие / Аронов В.Ю., Бузов А.Л., Бузова М.А., Кольчугин Ю.И., Копылов Д.А., Минкин М.А., Нещерет А.М., Под ред. Бузова А.Л. Самара: ПГУТИ, 2019. 84 с.
2. Бузов А.Л., Бузова М.А., Карлов А.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.

USING A METAMATERIAL SCREEN TO INCREASE THE ISOLATION BETWEEN UDA-YAGI ANTENNAS

Buzov A. L.¹, Buzova M. A.¹, Nosov N. A.¹, Shlyahov A. V.²

(¹JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,

²“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The problem of increasing the isolation between Uda-Yagi antennas using a metamaterial screen is considered.

УДК 621.396.67

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ СИСТЕМ WI-FI НА ПРОТЯЖЕННЫХ ГОРОДСКИХ ПЛОЩАДКАХ

Бузов А. Л.¹, Кольчугин Ю. И.¹, Моторко А. И.²

(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

*²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Зоны доступа общественных сетей WiFi в парках и на площадях позволяют получить немало выгод, таких как увеличение числа посетителей, облегчение развертывание сети видеонаблюдения, возможность предоставления пользователям различных видов услуг, рекламных рассылок или оповещений.

Проектирование сети Wi-Fi на открытом воздухе и, в частности, в парковых зонах имеет свои особенности и требования. Использование традиционных антенн может быть затруднено, поскольку требует привязки к наземным зданиям или сооружениям, которые и вовсе могут отсутствовать [1].

Исходя из среднестатистических данных, было проведено моделирование участка размером 200 на 200 м, где устанавливались антенны скрытого размещения в специально оборудованных телекоммуникационных колодцах.

Расчет зоны покрытия 6 излучателей проводился в программном комплексе электродинамического моделирования FEKO 7.0 (Рис. 1). Излучатели рассчитывались на основании метода интегральных уравнений, который позволяет сводить решение краевых задач к интегральным уравнениям Фредгольма второго рода, что так же позволяет получить численные решения краевой задачи.

В докладе представлены результаты расчетов напряженности электрического поля на городских площадках с различными вариантами расположения излучателей.

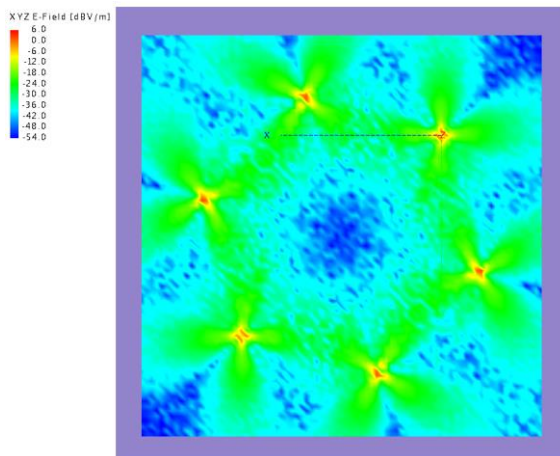


Рис. 1. Зона покрытия 6 низкопрофильных антенн на площади 4 га

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Котков К.В., Красильников А.Д., Моторко А.И. Технологические аспекты организации Wi-Fi сетей в условиях городской застройки на основе использования элементов местной инфраструктуры // Радиотехника. 2020. № 6 (11). С. 23 – 29.

CHARACTERISTICS OF DISTRIBUTED RADIATING WI-FI SYSTEMS ON LONG URBAN AREAS

Buzov A. L.¹, Kolchugin Yu. I.¹, Motorko A. I.²

(¹JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,

²“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The report presents the results of calculations of the electric field strength in long urban areas. A city square was modeled with wells with low-profile antennas located on it.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕТЛЕВОГО БЫСТРОРАЗВЕРТЫВАЕМОГО АНТЕННОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДКМВ ДИАПАЗОНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПАРАМЕТРАХ ГРУНТА

***Бузова М. А.¹, Карлов А. В.¹, Красильников А. Д.¹,
Пестовский К. И.²***

(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

*²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В работе была смоделирована широкополосная антенная система в виде кольцевой антенной решетки на основе шести излучателей типа несимметричного петлевого вибратора Пистолькорса, образованного антенным канатиком, размещенным на телескопической опоре с оперативно изменяемой рабочей длиной [1].

Использование несимметричного вибратора подразумевает необходимость наличия противовеса в качестве искусственной земли. В представленной работе искусственная земля представляет собой отрезки проволоки длиной 4.5 м., радиально расходящиеся из центра антенного элемента.

Для расчета электродинамических характеристик кольцевой антенной решетки был использован комбинированный метод расчета, в основе которого применяются интегральные уравнения Гельмгольца 1-го, 2-го рода и интегральные представления Зоммерфельда.

Был проведен расчет КНД кольцевой антенной решетки в условиях задачи формирования максимума излучения в заданное направление с возможностью согласования всех антенных элементов с соответствующими антенно-фидерными трактами ВЧ-диапазона.

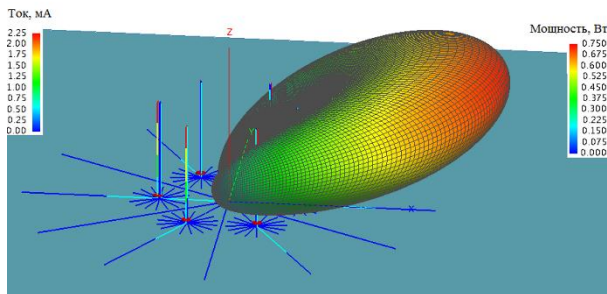


Рис. 1. Диаграмма направленности кольцевой антенной решетки в заданном направлении

Расчеты проводились при использовании двух видов подстилающей поверхности, имеющих параметры $\epsilon=20$, $\sigma=0.1$ См/м (влажная земля) и $\epsilon=3$, $\sigma=0.001$ См/м (сухая земля).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карлов А.В., Кольчугин Ю.И., Минкин М.А., Пестовский К.И. Быстроразвертываемые антенные системы ДКМВ диапазона на основе петлевых вибраторов // Радиотехника. 2020. Т. 84, №6(11). С.46 – 54.

CHARACTERISTICS OF A LOOP FAST-DEPLOYABLE ANTENNA RADIATOR OF THE HF BAND AT VARIOUS GROUND PARAMETERS

Buzova M. A.¹, Karlov A. V.¹, Krasilnikov A. D.¹,

Pestovsky K. I.²

(¹JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,

²“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The electrodynamic characteristics of broadband antenna systems of mobile radio complexes in the HF range are investigated taking into account the influence of ground characteristics.

ОЦЕНКА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОПЛОДОТВОРЕННЫХ И НЕОПЛОДОТВОРЕННЫХ КУРИНЫХ ЯИЦ

Вальяров М. Э., Насыбулин А. Р., Степура А. В.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

Информация о диэлектрических свойствах куриных яиц необходима при построении математических моделей и анализе процесса воздействия электромагнитного поля с целью интенсификации роста плода [1]. Были произведены измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь белка и желтка оплодотворенных и неоплодотворенных куриных яиц методом коаксиального пробника в диапазоне частот от 1 МГц до 10 ГГц. В качестве измерителя использовался векторный анализатор цепей Agilent Technologies E5071C. Измерения проводились по 10 раз для каждого объекта исследования, то есть отделенных друг от друга белка и желтка. На рис. 1 и 2 показаны зависимости диэлектрической проницаемости белка и желтка для двух типов яиц, на рис. 3 и 4 – тангенса угла потерь.

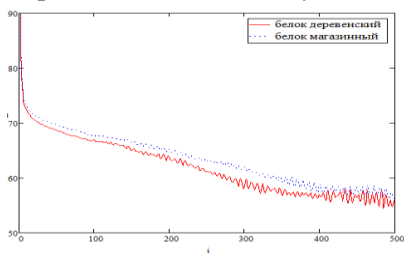


Рис. 1. Диэлектрическая проницаемость
белка оплодотворенных и не
оплодотворенных яиц

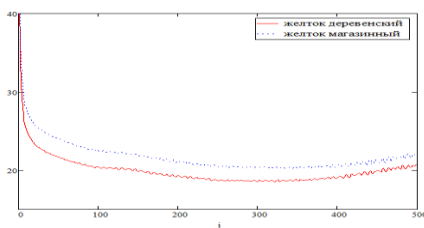


Рис. 2. Диэлектрическая проницаемость
желтка оплодотворенных и не
оплодотворенных яиц

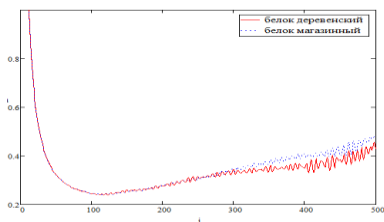


Рис. 3. Тангенс угла потерь белка оплодотворенных и не оплодотворенных яиц

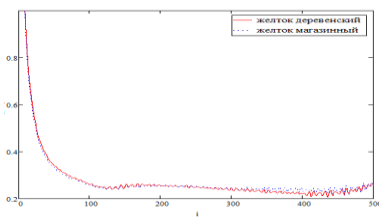


Рис. 4. Тангенс угла потерь желтка оплодотворенных и не оплодотворенных яиц

Проанализировав полученные результаты экспериментов, можно сделать вывод, что разница между оплодотворенными и неоплодотворенными яйцами более выражена в диэлектрической проницаемости. Желтки при измерении давали большой разброс в результатах из-за быстрого сворачивания на открытом воздухе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев И.В., Паршина Н.В., Осадчий Е.Н. Экспериментальное исследование проводящих свойств некоторых жидких биологических дисперсных сред в КВЧ-диапазоне // Инженерный вестник Дона. 2019. №9(60). С.9.

ASSESSMENT OF THE DIFFERENCE OF THE DIELECTRIC PROPERTIES OF HALF AND NON-FERTILIZED CHICKEN'S EGGS

Valyarov M. E., Nasybulin A. R., Stepura A. V.

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

The article compares the dielectric properties of a fertilized chicken egg with the unfertilized coaxial probe method. Separate graphs of whites and yolks are presented.

УДК 621.365.5

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СВЧ ПОЛЯ НА ПЕРВЫЕ ДНИ РАЗВИТИЯ КУРИНОГО ЭМБРИОНА

Вальяров М. Э., Насыбулин А. Р., Степура А. В.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

В докладе рассматриваются результаты влияния СВЧ поля на рост куриных эмбрионов с целью выявления оптимальных режимов интенсификации процесса роста [1]. Перед закладкой оплодотворенные куриные яйца были разделены на 3 равные группы по времени облучения: 0 сек (контроль), 10 сек и 20 сек. Яйца обрабатывались СВЧ ЭМП на частоте 2450 МГц. По прошествии 7-ми дней яйца доставались из инкубатора, вскрывались и из каждого отбирался белок С самого начала инкубации белок быстро уменьшается, начиная с 7-го дня инкубации потеря в веса белка резко уменьшается. Концентрацию белка в пробах оценивали с использованием биуретовой реакции на пептидные связи, в составе белков, и спектрофотометра Beckman Coulter DU 640. Результаты измерений представлены на рисунке 1.

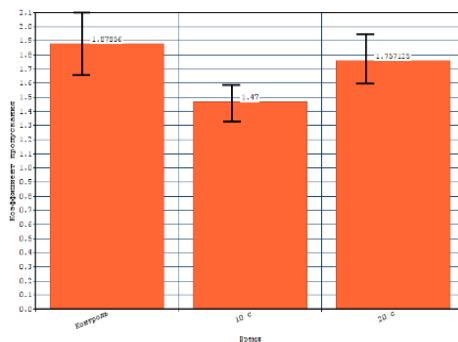


Рис. 1. Результаты эксперимента

Проанализировав полученные результаты экспериментов, можно сделать следующие выводы:

- Эффект СВЧ воздействия, стимулирующий анаболические процессы в тканях куриного эмбриона, проявляется в результате предынкубационной обработки данных яиц ЭМП микроволновой печи пока в течение 10 с. Концентрация белка куриных яиц, подвергшихся предынкубационной СВЧ обработке уменьшилась по сравнению с контролем примерно на 15% процентов. Соответственно потребление белковых веществ развивающимся куриным эмбрионом на такое же значение увеличилось.

- Зародыши куриных яиц, облучавшиеся в течение 20 с имели результат темпа прироста на порядок хуже, чем в случае СВЧ обработки в течение 10 с (в некоторых случаях сравнимый с контролем). Дальнейшее увеличение времени обработки приводит к ослаблению стимулирующего эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добренко А.М., Хвосторезов П.Е. Предынкубационная обработка яиц кур в постоянном магнитном поле // «Птицеводство». 2011. №3. С. 2 – 3.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MICROWAVE FIELD ON THE FIRST DAYS OF THE DEVELOPMENT OF THE CHICKEN EMBRYO

Valyarov M. E., Nasybulin A. R., Stepura A. V.

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

The article presents the results of an experiment to determine the best parameters of pre-incubation (immediately before laying in an incubator) processing of chicken eggs with microwave radiation at a frequency of 2450 MHz, as a result of which there is an increase in the growth rate and development of a chicken embryo (embryo).

УДК 621.396.674.37(1)

МИКРОВОЛНОВЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО РЕЗОНАТОРА

Васильев А. Д.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

В докладе рассматривается разработка микроволнового резонансного датчика на основе объемного прямоугольного резонатора для измерения концентрации растворов. Представлена модель СВЧ датчика и его резонансные характеристики.

Прямоугольный резонатор эффективно использовался в качестве устройства для измерения диэлектрической проницаемости, поскольку, несмотря на его узкую полосу пропускания, его точность выше по сравнению с широкополосными датчиками, широко используемыми для определения характеристик жидкости, такими как открытый коаксиальный кабель. Кроме того, это особенно удобно, когда необходимо анализировать небольшие жидкие образцы.

Предлагаемый в работе микроволновый датчик представляет собой объемный прямоугольный резонатор, в центре которого находится полый тефлоновый капилляр куда помещается исследуемый раствор.

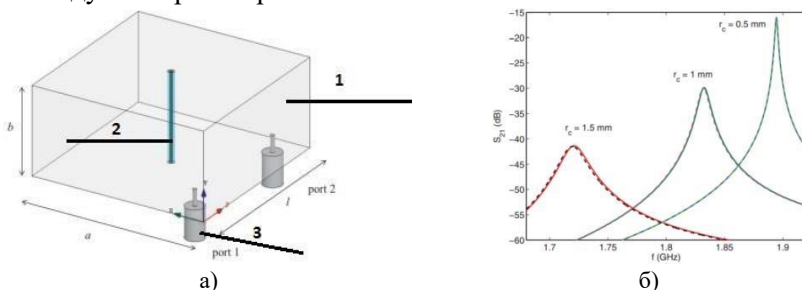


Рис. 1. Микроволновый датчик для измерения концентрации растворов:

а) конструкция датчика, б) коэффициент передачи датчика

На рисунке 1а условно обозначены: 1 – объемный прямоугольный резонатор; 2 – жидкостный капилляр; 3 – коаксиальный разъем. В данном случае резонатор выполнен из алюминия. Жидкостный капилляр выполнен из тефлона с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_c = 2.1$ и тангенсом угла потерь $\tan \delta_c = 0.001$.

В ходе моделирования изменяя внутренний радиус капилляра измерили коэффициент передачи датчика. Как можно заметить на рисунке 1б, наилучшим коэффициентом передачи обладает капилляр с внутренним радиусом $r_c = 0.5$ мм. Соответственно объем жидкостного капилляра напрямую влияет на коэффициент передачи датчика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геворкян В. Объемные диэлектрические резонаторы – основные типы, характеристики, производители // Элементная база электроники. 2016. №3. С.62 – 76.

MICROWAVE SENSOR BASED ON A VOLUME RECTANGULAR RESONATOR

Vasilev A. D.

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

The thesis discusses the development of a microwave resonant sensor based on a volumetric rectangular resonator for measuring the concentration of solutions. A model of a microwave sensor and its resonance characteristics are presented.

УДК 621.396

ВЫБОР МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ АНТЕНН НА ОБЪЕКТЕ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ЭМС И КООРДИНАЦИОННЫХ РАССТОЯНИЙ

Веденькин Д. А., Сагдиева А. Р.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

На сегодняшний день все большее количество технических устройств используют радиосистемы для решения задач управления, обмена информацией и, в некоторых случаях, измерения параметров движения. Существующая элементная база, мощные источники энергии и компактные исполнительные механизмы позволяют значительно уменьшить размеры подобных устройств-носителей. При этом все более острой становится задача обеспечения требований ЭМС в группе радиосредств.

Рассмотрим некоторую поверхность, в пределах которой должны быть установлены антенны радиосредств, при этом для каждой из антенн может быть задана приоритетная область расположения. Пример подобной поверхности с размещенными на ней антеннами представлен на рис.1

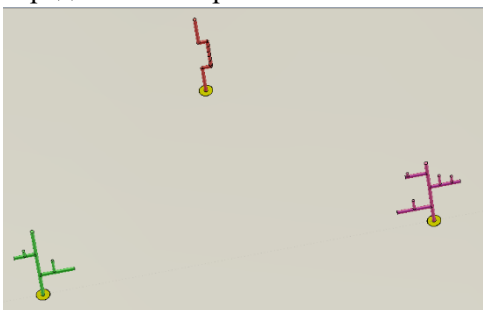


Рис. 1. Поверхность с размещенными моделями антенн

После размещения антенн на поверхности оцениваются диапазоны частот побочных каналов излучения и приема и

коэффициенты связи антенн и мощности помех методом парной оценки. В случае превышения уровня помехи над заданным производится увеличение расстояния между рассматриваемыми антеннами. Таким образом спустя несколько итераций можно достичь требуемого размещения антенн в пределах указанной области [1,2].

Авторы выражают признательность профессору Седельникову Ю.Е. за обсуждение и ценные замечания.

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. Авиационная техника. 2015. №2. С.81-86.
2. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Латышев В.Е. Оценка электромагнитной совместимости радиотехнического оборудования перспективных беспилотных летательных аппаратов на этапах разработки // Вестник Поволжского государственного технического университета, Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. №5 (24). С. 57-64.

SELECTION OF ANTENNA PLACEMENT AT THE OBJECT TAKING INTO ACCOUNT EMC REQUIREMENTS AND COORDINATION DISTANCES

Vedenkin D. A., Sagdieva A. R.

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

The report is devoted to the assessment of the choice of the location of the antennas of radio technical equipment, taking into account the coupling coefficients and the method of coordination distances.

УДК 621.396

ЭФФЕКТ МУЛЬТИФОКУСИРОВКИ В СФОКУСИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ СИСТЕМАХ

Веденькин Д. А., Сагдиева А. Р.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

К настоящему времени антенной теорией в дальней зоне занимается апертурная теория антенн, которая определяет свойства диаграмм направленности в зависимости от пространственных распределений источников излучения на апертурах. В ближней же зоне, то есть в области, примыкающей к апертуре, аналогичная теория в полностью завершенном виде отсутствует. Основные вопросы, связанные с реализацией сфокусированных электромагнитных полей рассмотрены в [1].

Для реализации эффекта мультифокусировки с использованием антенных решеток могут быть использованы два подхода. Первый подход заключается в использовании части элементарных излучателей многоэлементной сфокусированной антенной решетки для формирования первого сфокусированного пятна, второй части излучателей для формирования второго сфокусированного пятна и т.д. Число необходимых точек фокусировки определяет число «подрешеток» единой многоэлементной антенной решетки, реализующей эффект мультифокусировки. При этом число элементов в каждой «подрешетке» может быть разным и определяется требованиями к размерам области фокусировки и уровню сфокусированного излучения в конкретной точке фокусировки. При этом каждый элементарный излучатель «подрешетки» излучает, например, монохроматический сигнал, параметры которого соответствуют требованиям по формированию конкретного сфокусированного излучения. Второй подход заключается в излучении каждым элементарным излучателем более сложного

многочастотного сигнала, параметры каждой из частотных компонент которого определяются исходя из требований к формированию электромагнитного поля в конкретной точке фокусировки (Рисунок 1).

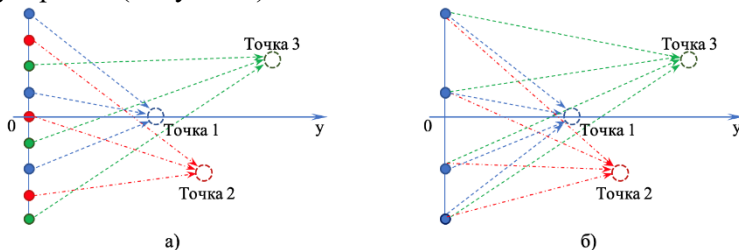


Рис 1. Организация мультифокусировки:

а) - с организацией «подрешеток», б) – с использованием многочастотного излучения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Седельников Ю.Е., Веденькин Д.А. Антенные решетки, сфокусированные по широкополосному сигналу // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. Т. 15. №.3–1. С.23-30.

EFFECT OF MULTIFOCUSING IN FOCUSED ANTENNA SYSTEMS

Vedenkin D.A., Sagdieva A.R.

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

The paper considers the possibility of realizing the focusing of electromagnetic radiation at several points simultaneously. Mathematical models are proposed that implement the multifocusing effect, and the main properties of devices that implement the idea of multifocus are estimated.

УДК 621.396.96:621.26

АНАЛИЗ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ПОД ВЛИЯНИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ

Артюшенко В. М.¹, Воловач В. И.², Устинова Е. С.²

(¹ГБОУ ВО МО «Технологический университет»,

*²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
сервиса»)*

Осуществлен анализ искажений диаграммы направленности фазированных антенных решеток (ФАР) при воздействии периодических мультипликативных (модулирующих) помех (МП).

В ходе анализа было получено выражение, определяющее мгновенную диаграмму направленности (ДН) ФАР по напряжению при воздействии периодических МП [1, 2]:

$$\dot{F}_{p,m}(\psi, t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{c}_k \exp j \{ k(\Omega_m t - \theta) \} \dot{F}_p(\psi - k\Omega_m \chi).$$

Абсолютные величины отдельных членов данной суммы определяются некоторыми коэффициентами $\dot{c}_k$, а фазовые соотношения зависят от времени и от случайной фазы МП, которую естественно предположить распределенной равномерно на интервале $(0, 2\pi)$ [3].

Среднее значение ДН по напряжению, получаемое при усреднении как по времени, так и по ансамблю реализаций случайной фазы θ , равно $\bar{\dot{F}}_{p,m}(\psi) = \dot{c}_0 \dot{F}_p(\psi)$, то есть, среднее значение диаграммы с точностью до постоянного комплексного множителя подобно неискаженной ДН.

Усреднение по времени и по ансамблю реализаций случайной фазы θ , получаем выражение для средней ДН по мощности:

$$\bar{\dot{F}}_{p,m}(\psi) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k^2 (\psi - k\Omega_m \chi) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{p,k}^2 F^2(\psi),$$

где $F_{p.k}(\psi) = F_p(\psi - k\Omega_m\chi)$, $c_k^2 = |\dot{c}_k|^2$.

Полученное выражение показывает, что средняя ДН решетки по мощности при периодических МП представляет собой взвешенную сумму неискаженной диаграммы $F_p^2(\psi)$ (с весом c_0^2) и слагаемых $F_{p.k}^2 = F_p^2(\psi - k\Omega_m\chi)$ с весами c_k^2 . Эти слагаемые и характеризуют искажения ДН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.
2. Кремер И.Я. О влиянии модулирующих (мультипликативных) помех на характеристики выходного сигнала оптимального приемника // Радиотехника и электроника. 1972. Т. 17. № 3. С. 68-74.
3. Артюшенко В.М., Воловач В.И. Искажения диаграмм направленности фазированных антенных решеток под влиянием периодических и флюктуационных помех // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2021. № 2. С. 10.

ANALYSIS OF DIRECTION DIAGRAMS PHASED ANTENNA ARRAYS UNDER THE INFLUENCE OF PERIODIC MULTIPLICATIVE NOISE

Artyushenko V. M.¹, Volovach V. I.², Ustinova E. S.²

¹*“Technological University”,*

²*“Volga Region State University of Service”*

The analysis of distortions of the directional diagram of phased antenna arrays under the influence of periodic multiplicative (modulating) noise is carried out.

УДК 621.396.96:621.26

АНАЛИЗ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК ПОД ВЛИЯНИЕМ ФЛУКТУАЦИОННЫХ МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ

Артюшенко В. М.¹, Воловач В. И.²

(¹ГБОУ ВО МО «Технологический университет»,

*²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
сервиса»)*

Осуществлен анализ искажений диаграммы направленности фазированных антенных решеток (ФАР) при воздействии флукутационных мультипликативных помех (МП).

В ходе анализа было получено выражение, определяющее мгновенную диаграмму направленности (ДН) ФАР по напряжению при воздействии стационарных флукутационных МП [1]:

$$\overline{\dot{F}_{p.m}}(\psi) = \int_{-\infty}^{\infty} \overline{\dot{M}(t)} a(x) \exp\{j\psi x\} dx = \overline{\dot{M}}_p(\psi),$$

то есть, по форме она подобна неискаженной ДН и не дает информации об искажениях, вносимых МП. Такая информация заключена в модуле $|\overline{\dot{F}_{p.m}}(\psi)|$ или в средней диаграмме по мощности, представляющей собой квадрат модуля ДН $\dot{F}_{p.m}(\psi)$. Средняя ДН по мощности, исходя из соотношения [1]:

$$\overline{F_{p.m}^2}(\psi) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a(x_1) a(x_2) m_1 \dot{M}(t - \chi x_1) M^*(t - \chi x_2) \times \\ \times \exp\{j\psi(x_1 - x_2)\} dx_1 dx_2, \quad (1)$$

где ψ и χ определяются: $\psi = \pi L \lambda^{-1} (\sin \gamma_0 - \sin \gamma)$ и $\chi = L \sin \gamma / 2c$; здесь γ_0 – угол, соответствующий максимуму ДН; γ – текущее значение угла ДН (угол, отсчитываемый от нормали к решетке); χ – время относительного запаздывания для крайнего элемента решетки; c – скорость света; L – длина линейки излучателя.

Если $\dot{M}(t)$ – стационарная случайная функция, то (1), с учетом выражения для корреляционной функции помеховой модуляции

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

где $\theta_4^{\text{np}}(x_1, x_2, x_3, x_4)$ – четырехмерная характеристическая функция изменений амплитуды и фазы в момент времени $t_1 = t$ и $t_2 = t - \tau$, приводит после ряда преобразований к виду:

$$\overline{F_{\text{p.m.}}^2(\psi)} = \alpha_0^2 F_{\text{p}}^2(\psi) + \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a(x_1) a(x_2) \dot{B}_V(\chi x_2 - \chi x_1) \times \\ \times \exp\{j\psi(x_1 - x_2)\} dx_1 dx_2,$$

Данное выражение представляет собой среднюю диаграмму по мощности при флуктуационных МП в виде суммы неискаженной ДН по мощности в измененном масштабе и члена, характеризующего искажения формы ДН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники; 3-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 656 с.

ANALYSIS OF DIRECTION DIAGRAMS PHASED ANTENNA ARRAYS UNDER THE INFLUENCE OF PERIODIC MULTIPLICATIVE NOISE

Artyushenko V. M.^{1, 2}, Volovach V. I.²

(¹«Technological University»,

²«Volga Region State University of Service»)

The analysis of distorted directional patterns of antenna arrays under the influence of fluctuation multiplicative noise is carried out.

УДК 535.417.2

МИКРОВОЛНОВЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВОГО СПЛИТТЕРА/КОМБАЙНЕРА И SRR ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ В МИКРОПОТОКАХ

Гайнутдинов А. М.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)»*

В данной работе предлагается микроволновый микрожидкостный датчик, основанный на концепции делителя / сумматора, полезный для определения характеристик комплексной диэлектрической проницаемости жидких образцов. Датчик состоит из микрополосковой конфигурации делителя / сумматора, нагруженной SRR, вытравленной на микроволновой подложке с низкими потерями (Rogers RO3010 толщиной $h = 1,27$ мм, диэлектрической постоянной $\epsilon_r = 10,2$ и тангенс угла потерь $\tan\delta=0,0023$), и два микрофлюидных канала. Каналы располагаются поверх области зазора SRR, где сосредоточена электромагнитная энергия.

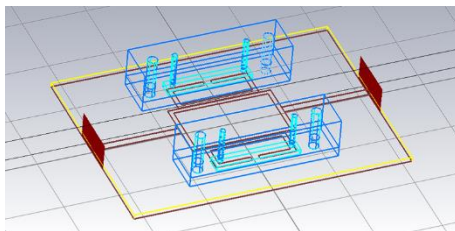


Рис. 1. Модель разработанного в CST Microwave Studio датчика

Калибровочные измерения (рис.2) подтверждают, что когда оба канала загружены одной и той же жидкостью или воздухом (симметричная конфигурация) коэффициент передачи как и ожидалось, показывает только одну метку. Если симметрия нарушена, то при введении в каналы разных жидкостей, частота

претерпевает расщепление, в результате чего получается два нуля передачи (затемненные по потерям жидкости).

Рис. 2. Измеренный коэффициент передачи для различных конфигураций — загрузка канала (указана) для калибровки датчика. Все измерения производились при комнатной температуре (25°)

1. J. Naqui, M. Durán-Sindreu, and F. Martín. Alignment and Position Sensors Based on Split Ring Resonators // Sensors. 2012. Vol.12. P. 11790–11797.

Gainutdinov A. M.

Proposed a circuit model that accurately predicts the frequency response of the transducer, including responses when the channels are loaded with fluid. The sensor was calibrated by measuring with various combinations of air, deionized water and ethanol in the channels, where the output variables were the difference in frequency and the difference in notch (in dB) between the two generated transmission zeros with an asymmetric load.

УДК 535.417.2

МИКРОВОЛНОВЫЙ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ LC-РЕЗОНАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ЖИДКОСТИ В МИКРОПОТОКЕ

Галимзянов Р. Э., Пикулев А. Н.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)»*

Микроволновый датчик выполнен на основе микрополосковой линии передачи, нагруженной соединенным последовательным шунтирующим LC-резонатором, в котором большая чувствительность достигается при помощи включения только одной емкости в структуру резонатора, которая вносит вклад в резонансную частоту, значительно повышающую чувствительность устройства. Это переводится в резонансный сдвиг частоты, по которому характеризуется образец жидкости.

Канал подает испытываемые жидкости в зону зондирования. К конструкции датчика прикреплена алюминиевая опорная пластина, защищающая его от деформации и изгиба во время измерений. Трехмерные виды разработанного датчика спереди и сзади представлены на Рис. 1 (а), (б).

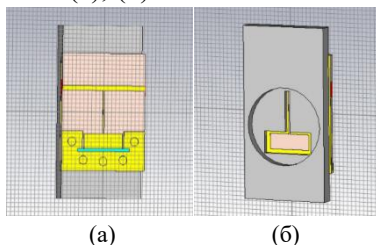


Рис. 1. (а) - 3D вид спереди разработанного датчика, (б) - 3D вид сзади разработанного датчика

Для проверки работоспособности датчика (рис. 2) в микрожидкостный канал были помещены растворы воды и этанола

в различных концентрациях. Меняя тангенс угла диэлектрических потерь в зависимости от концентрации одного вещества в другом, а также фиксируя изменение резонансной частоты и амплитуды при помощи маркеров, были получены результаты измеренных характеристик пропускания датчика для растворов воды и этанола с различными объемными долями.

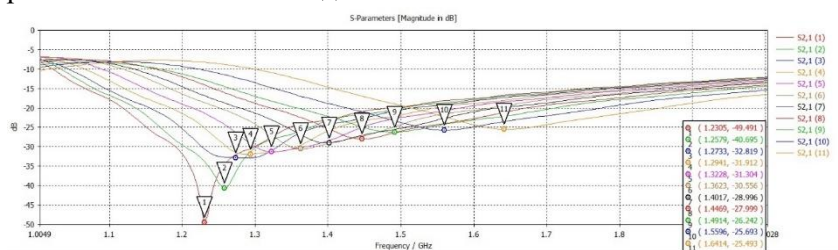


Рис. 2. Измеренные характеристики пропускания датчика для растворов воды и этанола с различными объемными долями

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ebrahimi, A., W. Withayachumnankul, S. Al-Sarawi, D. Abbott High-sensitivity metamaterial-inspired sensor for microfluidic dielectric characterization // IEEE Sensors J. 2014. Vol. 14, № 5. P. 1345–1351.

MICROWAVE HIGH-SENSITIVITY SENSOR BASED ON AN LC-RESONATOR FOR MEASURING THE PERMITTIVITY OF A LIQUID IN A MICROFLOW

Galimzyanov R. E., Pikulev A. N.

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

The microwave sensor is made on the basis of a microstrip transmission line loaded with a connected serial shunt LC resonator, in which greater sensitivity is achieved by including only one capacitance in the resonator structure, which contributes to the resonant frequency, which significantly increases the sensitivity of the device.

УДК 53.06:004.056.53

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОИСКА ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ПЕРЕХВАТА ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА В ЗАЩИЩАЕМОМ ПОМЕЩЕНИИ

*Гаманова М. А., Демидов А. В., Ключев Д. С., Фролов А. О.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

К одним из основных угроз безопасности информации ограниченного доступа относят утечку и перехват информации по техническим каналам, поэтому особо важно обеспечивать комплексную защиту помещений, предназначенных для конфиденциальных мероприятий [1].

Поиск и обнаружение закладных устройств (далее – ЗУ) осуществляется визуально, а также с использованием специальной аппаратуры. Лучшими возможностями по поиску радиозакладок обладают анализаторы спектра. Помимо того, что они перехватывают излучения ЗУ, они также могут анализировать их характеристики, что является полезным свойством, в случае использования для передачи информации сложных видов сигналов.

Анализаторы спектра могут визуализировать и анализировать спектр сигнала, который представляет собой набор синусоидальных волн в конкретный момент времени. Благодаря использованию этого прибора можно увидеть распределение энергии по частотам и получить амплитудно-частотную характеристику сигнала.

Анализаторы имеют в своем составе встроенные АМ/FM детекторы для прослушивания и идентификации ЗУ. Основные, доступные радиозакладки работают в диапазоне 60-108 МГц, 110-170 МГц, 350-450 МГц., что означает, что данные частоты необходимо перекрывать рабочим диапазоном частот анализатора.

Чтобы определить расстояние до ЗУ, в паре с анализатором спектра используется прибор для определения расстояния, в данном случае поиски осуществляются внутри помещения на расстояниях «прямой видимости» от радиопередатчика. Анализатор должен иметь звуковой выход для стыковки с прибором, чтобы было удобнее определять расстояния до радиомикрофона.

В данной работе проведен сравнительный анализ финансово-экономических показателей и технических характеристик современных анализаторов, а также разработаны программно-аппаратные части экспериментального анализатора спектра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ворона В.А., Костенко В.О. Способы и средства защиты информации от утечки по техническим каналам // Computational nanotechnology. 2016. С.208 – 223.

METHODS AND MEANS OF SEARCHING FOR ELECTRONIC DEVICES FOR INTERCEPTING INFORMATION USING SPECTRUM ANALYZERS IN A PROTECTED ROOM

Gamanova M. A., Demidov A. V., Klyuev D. S., Frolov A. O.
*(“Povolzhsky State University of Telecommunications and
Informatics”)*

The article contains the description of the operation of spectrum analyzers in relation to the detection of embedded devices in a protected room.

РАЗРАБОТКА ИНФРАКРАСНОГО ТЕПЛОВИЗОРА НА БАЗЕ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

*Гаманова М. А., Демидов А. В., Ключев Д. С., Фролов А. О.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В современном мире инфракрасные тепловизоры нашли широкое применение в таких отраслях как оборонная промышленность, медицина, строительство, аварийно-спасательная отрасль, металлургия, машиностроение. Но стоимость устройств для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности велика. Поэтому разработка дешевого аналога инфракрасного тепловизора является весьма актуальной.

В связи с вышесказанным была поставлена следующая цель: разработать программную и аппаратную части инфракрасного тепловизора на базе контроллера Arduino Uno.

Принцип действия инфракрасного тепловизора основан на измерении амплитуды электромагнитного излучения от объекта в инфракрасной части спектра и последующим пересчетом измеренного значения в мощность теплового излучения [1].

Если описывать подробнее, то тепловое излучение, сфокусированное оптической системой, передается на датчик-преобразователь, на выходе которого появляется электрический сигнал, пропорциональный значению температуры поверхности измерения. Этот сигнал проходит через электронный преобразователь, попадает в счетное устройство, результаты систематизируются и обрабатываются, а после отображаются на встроенном в тепловизор цветном дисплее (или передаются на компьютер) в виде цветного изображения, где красный цвет обозначает наиболее высокотемпературные участки, а черный или синий – низкотемпературные участки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коротаяев В.В. Основы тепловидения СПб: НИУ ИТМО, 2012. 122 с.

DEVELOPMENT OF THE INFRARED THERMAL IMAGE BASED ON ARDUINO UNO CONTROLLER

Gamanova M. A., Demidov A. V., Klyuev D. S., Frolov A. O.

*(“Povolzhsky State University of Telecommunications and
Informatics”)*

In the modern world, infrared thermal imagers are widely used in such industries as the defense industry, medicine, construction, rescue industry, metallurgy, mechanical engineering. But the cost of devices for monitoring the temperature distribution of the investigated surface is high. Therefore, the development of a cheap analogue of an infrared thermal imager is urgent.

УДК 621.396.67

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО АНТЕННОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ГНСС-ПРИЁМНИКОВ

*Демидов А. В., Клюев Д. С., Фролов А. О., Гаманова М. А.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В современном мире глобальные навигационные спутниковые системы (далее – ГНСС) нашли широкое применение в различных отраслях: от сотовой связи до оборонной промышленности. Важнейшим элементом ГНСС является навигационный антенный модуль (ГНСС-приемник). Обычно в качестве антенного модуля используют микрополосковую антенну как наиболее компактную. В настоящее время число ГНСС непрерывно растёт, добавляются новые системы и увеличиваются частотные диапазоны уже существующих ГНСС. Поэтому становится **актуальной** проблема разработки универсального антенного модуля.

В связи с вышесказанным была поставлена следующая **цель**: спроектировать антенный модуль, способный работать во всех диапазонах рабочих частот ГНСС.

В общем случае принцип действия ГНСС-приемника состоит в получении сигнала со спутников ГНСС, обработки полученной информации и вычисление необходимых координат, скорости или времени.

Сигнал от спутника (в аналоговой форме) принимается входной антенной, усиливается и передается на аналого-цифровой преобразователь. Оцифрованный сигнал подается на управляющий контроллер, через который происходит координация ГНСС с внешними устройствами.

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL ANTENNA MODULE FOR GNSS RECEIVERS

Demidov A. V., Klyuev D. S., Frolov A. O., Gamanova M. A.

*(“Povolzhsky State University of Telecommunications and
Informatics”)*

In the modern world, global navigation satellite systems (hereinafter referred to as GNSS) are widely used in various industries. The most important element of GNSS is the navigation antenna module (GNSS receiver). Currently, the number of GNSS is constantly growing, new systems are being added and the frequency ranges of existing GNSS are increasing. Therefore, the problem of developing a universal antenna module becomes urgent.

The following goal was set for us: to design an antenna module capable of operating in all ranges of operating frequencies of GNSS

УДК 621.372.85

КУСОЧНО-ОДНОРОДНАЯ КОАКСИАЛЬНАЯ БРЭГГОВСКАЯ СВЧ СТРУКТУРА С НЕРЕГУЛЯРНОСТЯМИ ВНУТРЕННЕГО ПРОВОДНИКА

Ефимов В. А., Фархутдинов Р. В., Насыбуллин А. Р.
*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

Модель брэгговской СВЧ структуры представляет собой коаксиальный волновод, состоящий из периодически чередующихся секций с различными диэлектриками и ступенчатым изменением диаметра внутреннего проводника (Рис. 1) [1]. Линия обладает следующими параметрами: радиус внешнего проводника 5 мм, диаметры внутреннего проводника 3 мм и 1 мм. Цель анализа состояла в сравнении характеристик при одноволновом и полноволновом моделировании структуры при изменении диэлектрической проницаемости одной из секции, вторая секция имела воздушное заполнение.

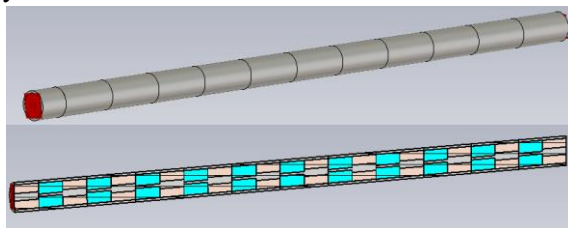


Рис.1. Модель кусочно-однородной коаксиальной брэгговской СВЧ структуры с нерегулярностями внутреннего проводника

Одноволновый расчет заключался в квазистатическом приближении рекуррентным методом. Полноволновый расчет был сделан в программе электродинамического моделирования. В результате моделирования было показано, что присутствие нерегулярности внутреннего проводника влияет на различие в

расчетах. При увеличении диэлектрической проницаемости различие увеличивалось. На рис. 2 показано сравнение результатов расчета одноволнового и полноволнового методов при диэлектрической проницаемости первой секции равной 50.

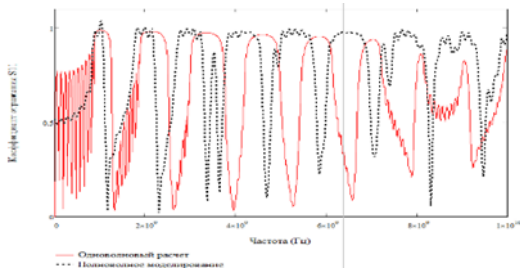


Рис.2. Коэффициент отражения при одноволновом и полноволновом расчетах

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фархутдинов Р.В., Насыбуллин А.Р., Морозов О.Г., Вазиев Т.О., Ишкаев Т.М., Садчиков В.В. Брэгговская СВЧ-структура в коаксиальном волноводе как датчик контроля диэлектрических параметров жидких сред // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2019. Т. 22. №4-2. С.114 – 120.

PIECEWISE UNIFORM COAXIAL BRAGG MICROWAVE STRUCTURE WITH IRREGULARITIES IN THE INNER CONDUCTOR

Efimov V. A., Farhutdinov R. V., Nasybullin A. R.

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

The results of single-wave calculations and full-wave modeling are obtained. When comparing the characteristics of single-wave calculation and full-wave simulation, it can be noted that there are significant differences in resonances at the Bragg frequency.

УДК 621.396.67

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНАЯ АНТЕННА С КВАЗИТОРОИДАЛЬНОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Алиев Д. С.¹, Иванов А. В.¹, Пастернак Ю. Г.^{1,2,3},

Пендюрин В. А.³, Чесноков Е. С.¹

(¹ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и

Ю.А. Гагарина», ²ФГБОУ ВО «Воронежский

государственный технический университет», ³АО НПП

"Автоматизированные системы связи")

Модель антенны представляет собой диэлектрическую цилиндрическую линзу диаметром 80 мм и высотой 40 мм с вертикальным воронкообразным отверстием, в котором помещено металлическое конусное четвертьволновое плечо вибратора.

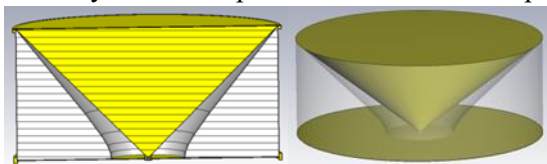


Рис. 1. Антенна в разрезе и с прозрачной линзой

Линза и конус закреплены на тонколистовом металлическом экране, который выполняет роль основы конструкции и нулевого потенциала антенны. Линза антенны будет изготовлена из полистирола (с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2,48$). Расчет электродинамических характеристик проводился в диапазоне 1–21 ГГц. Полученные значения КНД варьируются от 3,8 до 11,9 дБ. Значения номограммы Вольперта-Смита указывают на возможность обеспечения приемлемого согласования антенны с приемо-передающим трактом в широкой полосе частот без сложных согласующих цепей. Ширина диаграммы направленности по углу места изменяется до 15 градусов. Массогабаритные показатели

модели антенны позволяют планировать использование данного образца в комплекте радиооборудования комплекса с беспилотным летательным аппаратом. Отрабатываются варианты улучшения электродинамических характеристик данной модели антенны путем структурного синтеза диэлектрической линзы [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев Д.С., Беляев М.П., Иванов А.В., Пастернак Ю.Г., Мустафаев Т.М., Войтенко С.Р. Полноазимутальная антенна наземного пункта управления // Перспективы развития комплексов с БПЛА, систем и средств технической эксплуатации. 2019. С. 118 – 123.

ULTRA-WIDEBAND ANTENNA WITH A QUASI-TOROIDAL RADIATION PATTERN

**Aliev D. S.¹, Ivanov A.V.¹, Pasternak Yu. G.^{1,2,3},
Pendyurin V. A.³, Chesnokov E. S.¹**

(¹ “Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin”, ² “Voronezh State Technical University”, ³ JSC “Scientific and Production Enterprise”)

A variant of an ultra-wideband antenna with a quasi-toroidal radiation pattern based on a dielectric lens is presented.

УДК 621.396.67

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗОНАТОРНО-ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННЫ В КАЧЕСТВЕ ПОДЗЕМНОЙ АНТЕННЫ УКВ ДИАПАЗОНА

*Иванов А. В.¹, Николаев В. И.², Пастернак Ю. Г.^{1,2,3,4},
Пендюрин В. А.⁴*

*(¹ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ²АО «Концерн «Созвездие», ³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»,
⁴АО НПП «Автоматизированные системы связи»)*

Предлагается в качестве подземной антенны УКВ диапазона конструкция резонаторно-щелевого типа (рис. 1). Размеры антенны определены по методике, изложенной в работе [1]. Выбором такого типа и параметров антенны достигалась цель – разработать технологичную, компактную антенну с минимальной себестоимостью. Для электродинамического анализа выбрана рабочая частота 50 МГц, поляризация – вертикальная. Ожидаемый вид диаграммы направленности (ДН) антенны – тороидальный.

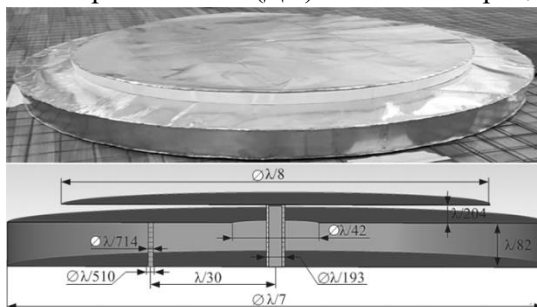


Рис. 1. Конструкция резонаторно-щелевой антенны

Запитка антенны осуществляется коаксиальным кабелем (волновое сопротивление 50 Ом), оплетка кабеля коммутируется к

нижней пластине, центральная жила – к стержню диаметром $\lambda / 714$. Согласование антенны с коаксиальным кабелем (волновое сопротивление 50 Ом) будет достигаться варьированием расстояния между центрами стержней ($\lambda / 30$). По результатам лабораторного и натурного экспериментов было установлено, что реальная часть входного сопротивления на частоте 50 МГц составляет около 60 Ом, полоса рабочих частот антенны, определенная по уровню КСВН ≤ 2 составляет около 0,5 МГц, при размещении антенн на поверхности земли резонаторно-щелевая антенна имеет коэффициент усиления на 8,7 дБ больше чем четвертьволновый штырь (эталонная антенна), при размещении по слою земли 50 см, коэффициент усиления на 7,0 дБ меньше чем у эталонной антенны.

Данную конструкцию антенны возможно использовать в качестве подземной антенны стационарного центра дальней УКВ радиосвязи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слюсар В. Диэлектрические резонаторные антенны // Электроника: Наука, технология, бизнес. 2007. № 2 (76). С. 28-37.

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF USING A RESONATOR-SLOT ANTENNA AS AN UNDERGROUND VHF ANTENNA

**Ivanov A. V.¹, Nikolaev V. I.², Pasternak Yu. G.^{1,2,3,4},
Pendyurin V. A.⁴**

(¹“Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and
Y. A. Gagarin”, ²JSC «Concern «Sozvezdie», ³“Voronezh State
Technical University”, ⁴JSC «Scientific and Production
Enterprise»)

A variant of an underground resonator-slot type antenna is proposed.

УДК 621.396.67

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ АНТЕННЫ УКВ ДИАПАЗОНА В ВИДЕ ПАТЧ-ИЗЛУЧАТЕЛЯ С МЕТАМАТЕРИАЛЬНОЙ ПОДЛОЖКОЙ

*Иванов А. В.¹, Николаев В. И.², Пастернак Ю. Г.^{1,2,3,4},
Пендюрин В. А.⁴*

*(¹ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина», ²АО «Концерн «Созвездие», ³ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный технический университет»,
⁴АО НПП «Автоматизированные системы связи»)*

Представленная антенна представляет собой квадратную патч-структуру с метаматериальной подложкой, изображенную на рисунке 1. Расчет геометрических параметров антенны основан на аналитических выражениях взаимосвязи размеров патч-антенны и рабочей частоты, рассмотренных в [1, 2]. Согласно подходам, изложенным в работе [3], уменьшены габаритные размеры антенны за счет увеличения коэффициента преломления введением в структуру конструкции метаматериальной подложки в виде четырех квадратных резонаторов.

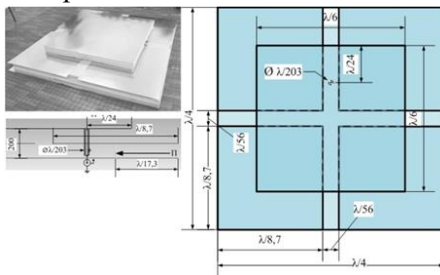


Рис. 1. Внешний вид патч-антенны, габаритные размеры элементов патч-антенны

Применение метаматериальной подложки из дешевого материала позволило снизить габаритно-массовые показатели и себестоимость разработанной антенны по сравнению с аналогами и подобными антенными конструкциями с воздушными изоляторами

в 2-3 раза. Результаты численного моделирования и полевых испытаний позволили убедиться в адекватности и работоспособности данного типа антенн в диапазоне метровых волн. Перспективным направлением дальнейших исследований можно считать поиск технических решений по расширению полосы рабочего диапазона частот для широкого применения данного типа антенн в промышленных образцах коротковолновых и ультракоротковолновых радиостанций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панченко Б.А., Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986. 144 с..
2. Chen Zh., Chia M. Broadband planar antennas: Design and Applications. John Wiley and Sons, 2006. 243 p.
3. Masoud Ahmadi. Low-profile microstrip end-fire antennas based on metamaterial substrates. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of applied science. The college of graduate studies (Electrical Engineering) The university of British Columbia (Okanagan) January, 2018.

INVESTIGATION OF AN UNDERGROUND VHF ANTENNA IN THE FORM OF A PATCH EMITTER WITH A METAMATERIAL SUBSTRATE

Ivanov A. V.¹, Nikolaev V. I.², Pasternak Yu. G.^{1,2,3,4},

Pendyurin V. A.⁴

(¹“Air Force Academy named after professor N.E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin”, ²JSC «Concern «Sozvezdie», ³“Voronezh State Technical University”, ⁴JSC «Scientific and Production Enterprise)

The results of the study of a VHF antenna based on a patch structure with a metamaterial substrate are presented.

УДК 53.089.6

**О ПОВЕРКЕ ДВУХЧАСТОТНОГО
РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРА-РАДИОМЕТРА
МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН**

***Безруков Д. Е., Иконников В. Н., Корнев Н. С.,
Макарычев Н. А., Назаров А. В., Трегубенко Д. А.***
(Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седякина»)

При исследовании быстропротекающих газодинамических требуется одновременно измерять как кинематические (перемещение, скорость), так и термодинамические (температура, давление) характеристики фронта детонации. Для решения этой задачи разработан двухчастотный микроволновый радиоинтерферометр-радиометр, где канал 2-мм диапазона длин волн предназначен для измерения параметров движения и коэффициента отражения, а канал 3-мм диапазона длин волн – для измерения яркостной температуры [1].

Погрешность измерений перемещения отражающей поверхности может быть определена с помощью автоматизированного стенда «Микрон» [2]. После начала движения отражателя регистрируются значения координаты каретки, измеренные при помощи преобразователя линейных перемещений, входящего в состав стенда, которые сравниваются с результатами радиоинтерферометрических измерений.

Приведенные в докладе экспериментальные данные показывают, что максимальное отклонение измеренного перемещения от контрольной величины не превышает 0,3 мм в диапазоне от 10 до 100 мм.

По причине отсутствия аттестованных физических источников термодинамической температуры свыше 1800 °С, при работе прибора в радиометрическом режиме применяется метод поверки с разделением измерений яркостной температуры и коэффициента отражения и использованием эталонного генератора

шума и комплекта волноводных поверочных мер КСВН. Подробное описание данного метода приведено в работе [3]. По результатам испытаний относительная погрешность измерения термодинамической температуры в диапазоне от 500 до 5000 К не превышает 30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безруков Д.Е., Иконников В.Н., Корнев Н.С., Макарычев Н.А., Марьевский С.В., Минеев К.В., Назаров А.В., Репин А.В. Двухчастотный микроволновый радиоинтерферометр-радиометр // Материалы XVIII Международной научно-технической конференции ФиТПВП-2020. Самара. 2020. С. 170-171.
2. Безруков Д.Е., Корнев Н.С., Макарычев Н.А., Минеев К.В., Назаров А.В., Трегубенко Д.А. Автоматизированный комплекс «Микрон» для определения погрешности измерений перемещения отражающей поверхности // Измерительная техника. 2020. № 10. С. 60-64.
3. Иконников В.Н., Корнев Н.С., Макарычев Н.А., Марьевский С.В., Минеев К.В., Назаров А.В. Метод поверки радиометров миллиметрового диапазона длин волн // Системы управления и измерительные технологии. 2020. №3(81). С. 71-75.

VERIFICATION OF DUAL FREQUENCY MICROWAVE RADIO INTERFEROMETER-RADIOMETER

***Bezrukov D. Ye., Ikonnikov V. N., Kornev N. S.,
Makarichev N. A., Nazarov A. V., Tregubenko D .A.
("Branch of FSUE RFNC VNIIEF NIIS named after Yu.E.
Sedakova")***

The report describes the method for verification of millimeter-waves radio interferometer-radiometer, which allows to measure the motion parameters (movement, speed) and thermodynamic temperature of fast processes.

РАЗРАБОТКА НИЗКОПРОФИЛЬНОЙ БОРТОВОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ L - ДИАПАЗОНА

Илларионов И. А.

(Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седякина»)

Плоские спиральные и спирально-щелевые антенны широко применяются в технике радиосвязи и телеметрии в качестве антенн бортовой аппаратуры. Основными проблемами при разработке бортовых спиральных антенн плоской топологии являются: 1) условия размещения антенны над металлическим экраном- бортом ЛА или в металлическом резонаторе, которые приводят к резкому ухудшению поляризационных характеристик, ограничению рабочей полосы частот, увеличению поперечных размеров антенны, 2) как следствие первого пункта, конструктивные сложности миниатюризации антенн подобного типа.

Миниатюризация спиральных антенн возможна путем снижения фазовой скорости бегущей волны в плече антенны. Существует несколько техник снижения фазовой скорости [1]: 1) расположение антенны в материале с высокой относительной диэлектрической или магнитной проницаемостями, 2) модификация плеч антенны путем модуляции формы, 3) применение радиопоглощающих материала в резонаторе антенны с целью уменьшения его высоты, 4) нагрузка плеч антенны на сосредоточенные или распределенные элементы, 5) применение искусственных *electronic bang gap* (EBG) материалов [2]. В данной работе были численно исследованы разные техники миниатюризации и выбрано несколько для создания экспериментального образца низкопрофильной спиральной антенны с расположением над металлическим экраном.

Основными критериями оптимизации в настоящей работе были: 1) значение коэффициента эллиптичности не более 3 дБ, 2) значение коэффициента усиления не менее 5 дБ, 3) минимальные

габариты антенн в полосе частот с перекрытием 1,75:1 в L-диапазоне. В результате численной оптимизации с применением комбинации техник миниатюризации: квадратной топологии архимедовой спирали, низкоконтрастных диэлектрических материалов в качестве подложки микрополосков спиральной антенны и стенок резонатора, включением резисторов в плечи спирали, использование широкополосного согласующего /симметрирующего устройства, была разработана антенна, удовлетворяющая критериям оптимизации и обладающая малыми относительными размерами: высота $H/\lambda_{\max}=0,15$, диаметр $D/\lambda_{\max}=0,4$, где $\lambda_{\max}$ - наибольшая длина волны рабочего диапазона. В работе приводятся результаты численного и экспериментального исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Antenna Engineering Handbook / John L. Volakis, Editor. -4th ed.- McGraw-Hill Companies, 2007.
2. Братчиков А.Н. EBG-материалы (электронные кристаллы) в антенной и СВЧ технике – М.: «Радиотехника», 2009.- 72 с.

STUDY OF THE LOW-PROFILE AIRBORNE L-BAND SPIRAL ANTENNA

Illarionov I. A.

(“Branch of FSUE RFNC VNIIEF NIIS named after Yu.E. Sedakova”)

Features of construction and miniaturization methods of airborne planar spiral antennas are considered. The results of designing of the compact low-profile spiral L-band antennas with AR less than 3 dB and Gain more than 5 dB are demonstrated.

ПАЗОВЫЙ СПОСОБ ВОЗБУЖДЕНИЯ РЕЗОНАНСНОЙ МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ

Илларионов И. А., Дудкин М. И.

(Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седатова»)

Резонансные микрополосковые антенны широко применяют в различных радиотехнических устройствах, что обусловлено как малой высотой микрополосковых антенн (МПА) по отношению к длине волны, так и достижимыми характеристиками излучения.

Существует несколько основных техник возбуждения резонансных МПА [1]: контактное коаксиальное возбуждение штырем-зондом, контактное микрополосковое (копланарное) возбуждение, неконтактное микрополосковое возбуждение и др. Исторически самым первым способом возбуждения МПА является коаксиальное возбуждение штырем-зондом. Основным преимуществом такого способа возбуждения является конструктивная простота достижения согласования МПА с линией возбуждения. Основной недостаток – наличие паразитного излучения штыря, приводящее к искажению ДН и ухудшению поляризационных характеристик.

Задачей представленного исследования являлось создание резонансной МПА, при возбуждении которой исключается паразитное излучение подводящих-возбуждающих цепей, приводящее к асимметрии диаграммы направленности и ухудшению поляризационных характеристик. В нашей работе предлагается способ возбуждения резонансной МПА, в котором основную моду антенны (круглой или прямоугольной формы) возбуждают посредством паза – несимметричной щели, выполненного в металлической пластине (патче) и направленного в центр пластины, который в свою очередь возбуждают короткозамкнутым штырем-зондом (рис.1). На рис.1: 1 - металлический экран; 2 - диэлектрическая подложка; 3 - излучающая

металлическая пластина (патч); 4 – паз; 5 – центральный проводник коаксиальной линии; 6 – коаксиальная линия. В качестве штыря-зонда используется центральный проводник коаксиальной линии, который соединяют с одной из сторон паза, при этом экран коаксиальной линии гальванически соединяют с противоположной стороной паза. Поскольку в предлагаемой геометрии резонансной МПА отсутствуют элементы, приводящие к появлению токов, текущих нормально поверхности подложки 2 и экрана 1, то отсутствует искажение ДН основной моды МПА.

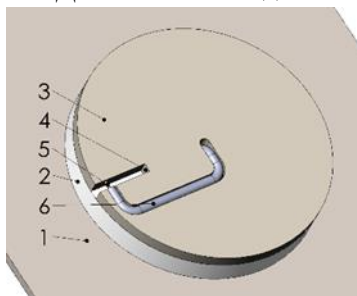


Рис.1 Пазовый способ возбуждения МПА

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Garg, R., Bhartia P., Bahl I. Ittiboon A. Microstrip antenna design handbook, Artech House, 2001. 845 p.

THE NOTCH FEEDING TECHNIQUE OF MICROSTRIP ANTENNAS

Illarionov I. A., Dudkin M. I.

(“Branch of FSUE RFNC VNIIEF NIIS named after Yu.E. Sedakova”)

The new feeding technique of microstrip (patch) antennas is proposed and demonstrated. The feeding technique is used the non-symmetrical slot – notch in metallic patch. The notch feeding technique eliminates the parasitic radiation of the probe excitation.

УДК 621.372.85

ИЗГОТОВЛЕНИЕ НЕПЛАНАРНОЙ ПОЛОСКОВОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ПОМОЩИ 3D ПЕЧАТИ

Ишкаев Т. М., Насыбуллин А. Р., Шакиров Р. Ф.

(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)

Непланарные микрополосковые структуры, описанные в работе [1], достаточно трудоемкие в изготовлении. Такие структуры имеют перспективу применения в сенсорных приложениях. Основная идея реализации подобных элементов основывалась на использовании гибких подложек СВЧ диапазона, такие как: Taiflex, Shengyi и др. При формировании непланарной структуры из таких материалов проявились проблемы деформации и обрыва диэлектрика и металлизации. Кроме этого, при расчете волнового сопротивления на 50 Ом размеры проводника близки к сотым долям миллиметра, что влечет за собой трудность изготовления и монтажа.

Второй вариант изготовления предполагал использование медной фольги, наклеенной на отформованную фторопластовую ленту толщиной 0,8 мм. Низкий уровень адгезии и сложность приклеивания металла к фторопласту, затрудняют реализацию модели. Однако ширина полоскового проводника при такой конфигурации линии составляет порядка 2,5 мм.

Третий вариант исполнения непланарной полосковой структуры заключался в использовании технологии 3D печати. Так как пластик для печати является диэлектриком, зная его диэлектрические характеристики, возможна реализация подложки любой формы. Кроме этого, приклеивание медных проводников осуществляется намного проще, чем при использовании фторопластовой ленты.

Для печати был выбран Полилактид (PLA), диэлектрические характеристики которого: $\varepsilon=2.27$ и $tg\delta=0.01$. На рисунке 1 приведен

процесс печати диэлектрической подложки непланарной полосковой линии из PLA пластика.

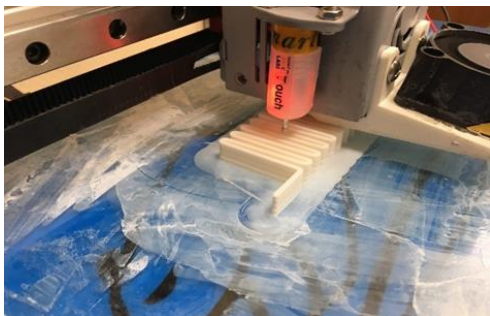


Рис. 1. Процесс печати диэлектрической подложки

Печать проводилась на 3D принтере FlyingBear при следующих параметрах печати: толщина слоя 0,2 мм, диаметр сопла 0,4 мм, температура сопла 190 °С. Модель состоит из 99 слоев. Общее время печати составило 2,5 часа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М., Шакиров Р.Ф. Исследование особенностей полосковых брэгговских СВЧ-структур с непланарной формой проводников // Труды 63-й Всероссийской научной конференции «Электроника, фотоника и молекулярная физика». 2020. С. 152 – 153.

MANUFACTURING AN UNPLANAR MICROSTRIPS STRUCTURE USING 3D PRINTING

Ishkaev T. M., Nasibullin A. R., Shakirov R. F.

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

The report presents the main stages of implementation of nonplanar microstrip Bragg structure using 3D printing technology. The main aspects of choosing such a fabrication method are described.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПЛАНАРНЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ЛИНИЙ В СЕНСОРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Ишкаев Т. М., Насыбуллин А. Р., Шакиров Р. Ф.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

В связи с требованиями к минимизации размеров датчиков остро встает проблема длины чувствительных элементов СВЧ диапазона, особенно реализованных в виде брэгговских структур. Для решения описанной проблемы предлагается модель непланарной микрополосковой структуры (рис. 1).

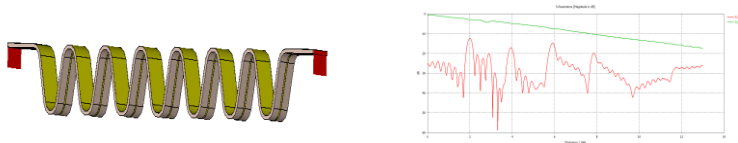


Рис.1. Внешний вид непланарной СВЧ-структуры и ее частотные характеристики

При измерении диэлектрической проницаемости ϵ твердых материалов большое влияние в результаты измерений вносит плотность примыкания чувствительного элемента к исследуемому объекту. Непланарная форма сформированной структуры позволяет нивелировать неровности и шероховатости поверхности, тем самым минимизировать их негативное влияние. На рис. 2 представлена компьютерная модель непланарной брэгговской СВЧ структуры для диагностики диэлектрических параметров твердых материалов.

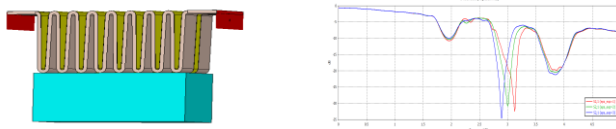


Рис. 2. Компьютерная модель эксперимента по диагностике твердых материалов и коэффициент передачи при изменении ϵ

Аналогичный эксперимент был проведен для варианта с жидкостями. В этом случае непланарную структуру погружают в исследуемую жидкую среду. Компьютерная модель процесса измерения и изменение ее коэффициента передачи представлена на рис. 3.

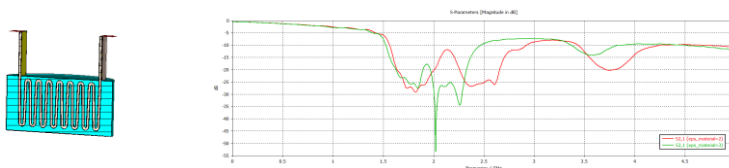


Рис. 3. Компьютерная модель эксперимента по диагностике жидких сред и коэффициент передачи при изменении ϵ

В непланарных периодических структурах существуют два типа резонансных эффектов: брэгговский резонанс и резонанс, обусловленный близким расположением линий. Последний имеет более высокую чувствительность к измерению диэлектрических параметров в силу большей концентрации поля между линиями. Применение этого резонанса наиболее эффективно для анализа плоских материалов, которые слабо влияют на брэгговский резонанс линии. При измерении жидкостей изменению подвергаются оба типа резонанса.

USING UNPLANAR MICROSTRIPS IN SENSOR APPLICATIONS

Ishkaev T. M., Nasibullin A. R., Shakirov R. F.

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

The report assesses the possibility of using nonplanar microstrip Bragg structures in problems of measuring control of solid and liquid materials and substances. Recommendations for their use as part of measuring devices have been formulated.

РАСЧЕТ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОНКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВИБРАТОРА С УЧЕТОМ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ ЗАЗОРА

Захаров В. С., Ключев Д. С., Соколова Ю. В.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Входное сопротивление является важнейшим параметром, определяющим возможность согласования входа антенны в нужной полосе частот, однако в научной литературе нет единого мнения по оценке существующих методик расчета входного сопротивления электрического вибратора. Обычно входное сопротивление электрического вибратора (рис. 1) определяется отношением напряжения U в зазоре к току I_0 в точке питания $z = l_0$: $Z_{\text{вх}} = U/I_0$. Определение тока I_0 из решения интегральных уравнений Поклингтона или Халлена, как интегральных уравнений Фредгольма первого рода, приводит к некорректно поставленным задачам. Эвристический метод расчета $Z_{\text{вх}}$, основанный на эквивалентной схеме электрического вибратора в виде отрезка двухпроводной линии, также оставляет открытым вопрос проверки истинности решения и установления его адекватности рассматриваемой физической задаче. Также большинство методов не учитывают конечную ширину зазора, к которому подключен генератор, предполагая его бесконечно узким.

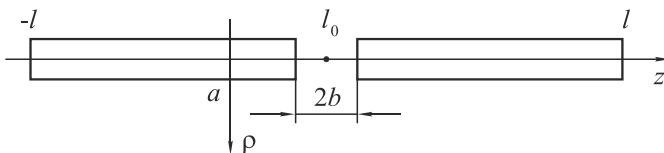


Рис. 1. Геометрия задачи

Конечную ширину зазора можно учесть, определяя распределение тока по вибратору с помощью обобщенного уравнения Халлена [1] или сингулярного интегрального уравнения [2].

В данной работе рассчитаны зависимости входного сопротивления тонкого электрического вибратора от ширины зазора, проведены исследования этих характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Neganov V.A., Kornev M.G., Matveev I.V. A new integral equation for calculating thin electric vibrators // Technical Physics Letters. 2001. Vol. 27. №. 2. P. 160-163.

2. Неганов В.А., Матвеев И.В. Применение сингулярного интегрального уравнения для расчета тонкого электрического вибратора // Доклады Академии наук. 2000. Т. 373. № 1. С. 36-38.

THIN ELECTRIC DIPOLE INPUT IMPEDANCE CALCULATION TAKING INTO ACCOUNT THE FINITE GAP WIDTH

Zaharov V. S., Klyuev D. S., Sokolova Yu. V.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

In this paper, using the generalized Hallen equation and the singular integral equation, the input impedance of a thin electric dipole is calculated taking into account the finite width of the gap. The dependences of the real and imaginary parts of the input impedance of the dipole on the width of the gap are presented, and their research are carried out.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНТЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Копылов Д. А.^{1,2}

(¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

В связи с тенденциями все большего ужесточения требований к современным системам радиосвязи достаточно остро стоит вопрос разработки антенн нового поколения, обладающих улучшенными характеристиками. В первую очередь, это связано с повышением пропускной способности в таких сетях и уменьшения времени задержки. Перспективным направлением в области разработки антенн с улучшенными характеристиками является использование в их конструкции метаматериалов. Однако поскольку данные метаматериалы являются сложными, резонансными структурами, у которых даже небольшие отклонения в элементах конструкции могут вызвать существенные отклонения в характеристиках, то вопросы их проектирования являются важными.

В работе рассмотрены различные материалы и технологии, используемые при создании антенных систем на основе метаматериалов. Кроме того, рассматривается также методика проектирования составных частей данных антенных систем, в частности, киральных метаматериалов. Данная методика позволяет выбирать тип киральных метаматериалов (объемные или планарные) в зависимости от технических условий применения, а также управлять их электрофизическими характеристиками.

Выполнен анализ типичного состава антенных систем на основе метаматериалов, а также их декомпозиция. Кроме того, проанализированы также возможности оценивания влияния технологических допусков на характеристики как метаматериалов,

так и антенной системы в целом, путем использования аналитических методов теории параметрической чувствительности и методов имитационного моделирования. В результате был сформулирован ряд важных задач по совершенствованию методов выбора технологических решений.

Использование такого подхода позволит развить методологию проектирования антенных систем на основе метаматериалов. Первые результаты по созданию макетов антенных систем на основе киральных метаматериалов показаны в работах [1,2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузов А.Л., Кабанов В.А., Копылов Д.А., Нещерет А.М. Экспериментальное исследование излучающих структур на основе биизотропных и бианизотропных киральных метаматериалов // Радиотехника. 2020. Т.84. № 6(11). С. 15-22.
2. Бузов А.Л., Кабанов В.А., Копылов Д.А., Нещерет А.М. Результаты экспериментального исследования излучающих структур на основе киральных метаматериалов // Материалы 30 Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». 2020. С. 157-158.

ANTENNA DESIGN TECHNOLOGY SYSTEMS BASED ON METAMATERIALS

Kopylov D. A.

*(JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,
2 “Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

The report discusses the technological aspects of creating antenna systems based on metamaterials.

УДК 621.396.674.37(1)

МИКРОВОЛНОВЫЙ ДАТЧИК НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОГО КОЛЬЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА

Коркина А. Р., Насыбуллин А. Р., Фархутдинов Р. В.
*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

В докладе рассматривается разработка резонансного датчика на основе копланарного объемного кольцевого резонатора, предназначенного для анализа примесей в оливковом масле. Представлена модель СВЧ датчика и его резонансные характеристики.

Предлагаемый микроволновый датчик (рис.1) представляет собой объемный кольцевой резонатор, расположенный на подложке, в качестве способа связи используется негальваническое соединение через щелевое пространство.

На рис. 1а условно обозначены: 1 – центральный проводник объемного кольцевого копланарного резонатора; 2 – экранные проводники объемного кольцевого копланарного резонатора; 3 – резервуар из диэлектрика, служащий подложкой для проводников объемного кольцевого резонатора; 4 – содержимое измерительного резервуара; 5 – коаксиальные линии; 6 – подложка копланарной линии передачи; 7 – центральный проводник копланарной линии передачи; 8 – экранные проводники копланарной линии передачи. Между объемным кольцевым резонатором и подложкой имеется воздушная прослойка величиной d равная 1 мм.

В ходе моделирования было показано, что максимальной чувствительностью обладает резонанс на частоте 4,125 ГГц, соответствующий резонансной моде с максимальной концентрацией электрического поля в образце. На этой частоте чувствительность измерения диэлектрической проницаемости ϵ равна 100 МГц/ед. ϵ , чувствительность измерения тангенса потерь $\text{tg } \delta$ равна амплитуда/0,05 $\text{tg } \delta$.

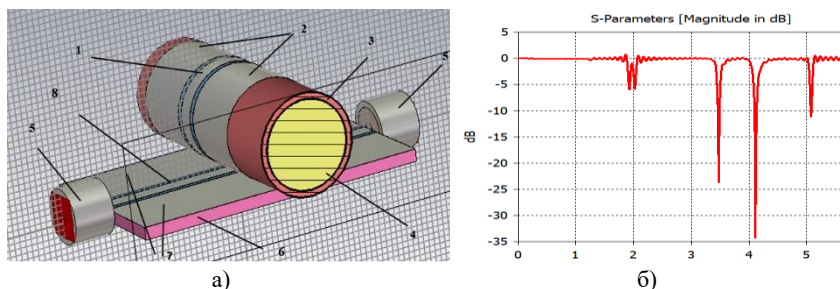


Рис. 1. Микроволновый датчик для анализа примесей в оливковом масле: а) конструкция датчика, б) резонансная характеристика датчика

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геворкян, В., Объемные диэлектрические резонаторы – основные типы, характеристики, производители/ В. Геворкян, В. Кочемасов // Элементная база электроники. 2016. №3. С. 62-76.

MICROWAVE SENSOR FOR ANALYSIS OF IMPURITIES IN OLIVE OIL

Korkina A. R., Nasybullin A. R., Farkhutdinov R. V.
 (“Kazan National Research Technical University named after A.
 N. Tupolev - KAI”)

This thesis discusses the development of a coplanar transmission line resonant sensor for the analysis of impurities in olive oil. A model of a microwave sensor and its resonance characteristics are presented.

УДК 621.396.674.37(1)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ПО РАМОЧНОЙ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ СТРУКТУРЕ

Кориунов С. А.^{1,2}

¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

Излучающая структура представляет собой круглую идеально проводящую рамку радиуса R , ширины $2a$, расположенную на металлизированном диэлектрике толщиной d , с диэлектрической проницаемостью ε_1 и магнитной проницаемостью μ_1 . Структура расположена в среде с диэлектрической проницаемостью ε_2 и магнитной проницаемостью μ_2 . Рамка возбуждается гармонической во времени, распределенной сторонней ЭДС, которая приложена к области разрыва с угловой шириной 2Δ .

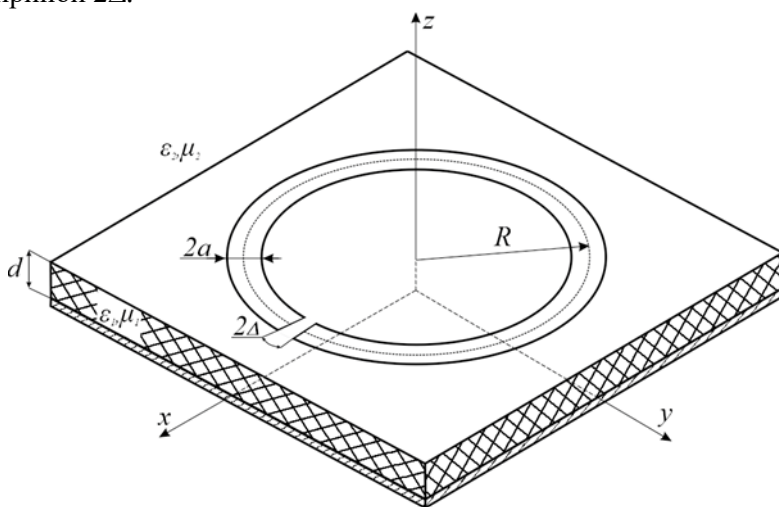


Рис. 1. Геометрия задачи

С помощью метода, описанного в [1], получены выражения для определения матрицы поверхностных импедансов исследуемой структуры, а также записано интегральное представление поля.

Для рассматриваемой структуры было учтено, что поперечное распределение плотности тока относительно ленты рамочного излучателя можно принять квазистатическим для достаточно узких проводников ($2a \ll 2\pi R$)

$\eta_{\phi}(\rho', \phi') = f(\phi') / \sqrt{1 - ((\rho' - R)/a)^2}$, далее, учитывая граничные условия, записывается интегральное уравнение относительно $f(\phi')$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дементьев А.Н., Ключев Д.С., Неганов В.А., Соколова Ю.В. Сингулярные и гиперсингулярные интегральные уравнения в теории зеркальных и полосковых антенн. М.: Радиотехника, 2015. 216 с.

METHODOLOGY FOR CALCULATING THE CURRENT DENSITY DISTRIBUTION FUNCTION ON A FRAME RADIATING STRUCTURE

Korshunov S. A.

(JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,
²“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

Expressions are obtained for determining the matrix of surface impedances. An integral equation is obtained for determining the current distribution over the frame radiating structure. A method for solving it is proposed.

УДК 621.396.674.37(1)

СРАВНЕНИЕ МОДУЛЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР И ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМП

Кувшинов Н. Е.

*(ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет»)*

Для экспериментов в [1] была выбрана матрица 6×10 элементов, расположенных на листе из оргстекла прямоугольной формы с размерами 200×300 мм. Выбор оргстекла в качестве основания обусловлен достаточно малым его нагревом под воздействием ЭМП. Элементы закреплены с шагом в 20×30 мм. При таком выборе обеспечивается удовлетворительная точность, так как погрешность, связанная с основанием, не так существенна – измеряется относительное распределение, а выбор шага представляет разумный компромисс между величиной дискрета и количеством точек контроля. На рис. 1 представлен вариант распределения теплового поля на высоте 3 см от дна рабочей камеры микроволновой печи «Электроника СП-23» с разрешением по температуре 0,5 °С.

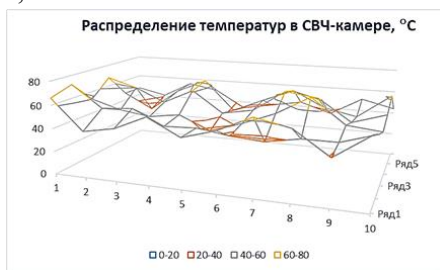


Рис. 1. Распределение температур в модуле с электронным опросом

Из рис. 1 видно, что максимальный перепад (отношение) температур может достичь значения 2,2 (73 °С/33 °С). Данный факт может свидетельствовать об отношении максимального и минимального значения интенсивностей ЭМП, также в 2,2 раза.

На рис. 2 представлено нормированное к среднему распределение интенсивности ЭМП СВЧ диапазона при когерентном возбуждении камеры пятью штырями.

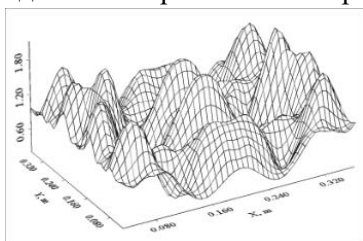


Рис. 2. Распределение температур в модуле с радиофотонным опросом

Отношении максимального и минимального значения интенсивностей, полученное из преобразованного распределения поля температур, составило (1,8/1,2) 1,33 раза при точности измерения по температуре в $\pm 0,01$ °C. Равномерность распределения в этом случае повысилась в 1,7 раза по сравнению с одноэлементным возбуждением (рис. 1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morozov G.A., Morozov O.G. On-line NDE monitoring for microwave reticulation of thermosetting resins // Proc. of SPIE. 1998. Vol. 3396. P. 264-270.

COMPARISON OF MODULES FOR TEMPERATURE AND EMF INTENSITY MEASURING

Kuvshinov P. E.

("Kazan State Energy University")

The module with electronic polling was modernized to radio-photon one. The relative error of temperature measurement decreased in 50 times. In the work it is additionally shown that with a five-element excitation of the field in the working chamber, its uniformity increases by 1.7 times contrary to one-element.

УДК 621.396.674.37(1)
**РАДИОФОТОННЫЙ МОДУЛЬ ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУР И ИНТЕНСИВНОСТИ ЭМП**

Кувшинов Н. Е., Мисбахов Р. Ш.

*(ФГБОУ ВО «Казанский государственный
энергетический университет»)*

В работе используется модифицированный калориметрический метод (рис. 1), основанный на связи удельной поглощаемой мощности и напряженности поля E в поглощающем термопреобразователе (ТП) [1]. При кратковременном нагреве ТП Δt приращение его температуры ΔT будет пропорционально интенсивности $|E|^2$:

$$|E|^2 \sigma \Delta t \approx C m \Delta T, \quad (1)$$

где C – удельная теплоемкость; m – масса ТП; σ – проводимость ТП в заданном объеме.

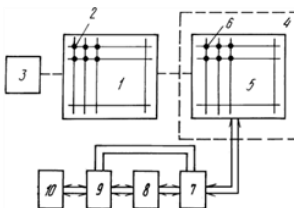


Рис. 1. Структурная схема с электронным опросом

Матрицу 1 с $M \times N$ ТП 2 помещают в 3 в место, где необходимо измерить распределение температур. Включают СВЧ-нагрев на время Δt , чтобы ТП 2 нагрелись до температуры 30...80 °С. Затем матрицу 1 вынимают из СВЧ-камеры 3 и помещают в термостат 4, закрывают термостат крышкой, на внутренней стороне которого установлена матрица 5 с $M \times N$ ПДТ 6. Соприкасаясь с соответствующим ТП 2, каждый ПДТ 6, представляющий собой p - n -переход транзистора в металлическом корпусе, формирует на своем выходе напряжение, пропорциональное температуре ТП 2.

Таким образом, температурный рельеф теплового поля СВЧ-камеры 3 трансформируется в изменение напряжения на выходе ПДТ 6 и через коммутатор 7, АЦП 8, интерфейс 9 поступает в ПЭВМ 10. ПЭВМ 10 проводит решение обратной задачи (1) и находит распределение интенсивности ЭМП в ней. Описанный процесс является достаточно трудоемким и не годится для использования в ходе реализации технологических процессов. На рис. 2 представлена его модернизация.

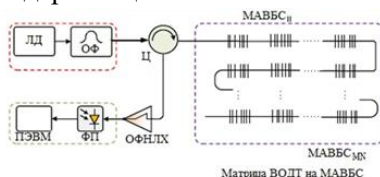


Рис. 2. Структурная схема с радиофотонным опросом

Относительная погрешность измерения температуры при использовании адресных брэгговских датчиков МАВБС, встроенных в ТП, и их мультиплексировании по адресам достигает $\pm 0,01^\circ\text{C}$ в отличие от схемы с электронным опросом $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morozov G.A., Morozov O.G. On-line NDE monitoring for microwave reticulation of thermosetting resins // Proc. of SPIE. 1998. Vol. 3396. P. 264-270.

MICROWAVE PHOTONIC MODULE FOR TEMPERATURE AND EMF INTENSITY MEASURING

Kuvshinov P. E., Misbakhov R. Sh.

(“Kazan State Energy University”)

The module with electronic polling was modernized to radio-photon one. The relative error of temperature measurement decreased in 50 times.

О РЕШЕНИИ ВНУТРЕННЕЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ МЕТОДОМ СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ

Табаков Д. П., Майоров А. Г.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Решение внутренней электродинамической задачи позволяет находить как решение внешней задачи, так и входное сопротивление антенны. Внутренняя задача формулируется в виде интегральных уравнений (ИУ), полученных из интегральных представлений электромагнитного поля, с учетом граничных условий и геометрии антенны. Запишем общий вид ИУ:

$$\bar{Z}\eta(z) = E^{cm}(z) / W_m,$$

Где $\bar{Z}(\ast)$ - интегральный оператор (ИО), $\eta(z)$ – искомое распределение тока вдоль координаты z , $E^{cm}(z)$ – заданная функция стороннего поля, W_m – волновое сопротивление свободного пространства.

Традиционно ИУ решается методом моментов, в рамках которого решается СЛАУ довольно большой размерности, что является ресурсоемкой процедурой.

В данной работе предлагается метод аппроксимации собственных функций и собственных значений интегрального оператора для решения внутренней задачи электродинамики. Метод, для случая вибраторной антенны, рассмотрен в работе [1] и заключается в использовании разложения искомого распределения тока $\eta(z)$ и стороннего поля $E^{cm}(z)$ в ряды по собственным функциям $\varphi_k(z)$:

$$\eta(z) = \sum_{k=1}^{\infty} \eta_k \varphi_k(z), \quad E^{(cr)}(z) = \sum_{k=1}^{\infty} \varepsilon_k \varphi_k(z),$$

где коэффициенты η_k связаны с собственными значениями ИО ξ_k следующим образом:

$$\eta_k = \varepsilon_k / W_m \xi_k.$$

Очевидно, что при наличии $\varphi_k(z)$ и ξ_k , внутренняя задача может быть решена без вычисления СЛАУ. Однако их поиск является не менее ресурсоемкой процедурой. Метод аппроксимации заключается в использовании их приближенных значений, полученных из аппроксимирующих формул, которые могут быть получены путем анализа решения задачи на собственные значения и собственные функции для ИО на широкой полосе частот и широкого диапазона изменения геометрических размеров антенны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Майоров А.Г. Аппроксимация решения внутренней электродинамической задачи для тонкого трубчатого вибратора методом собственных функций // Труды учебных заведений связи. 2019. Т.5. №4. С.58-64.

ANTENNAS RADIATING CURRENTS BY THE METHOD OF APPROXIMATED EIGENVALUES

Tabakov D. P., Mayorov A. G.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

An algorithm for approximating eigenvalues and eigenvectors has been developed.

ОТСЛЕЖИВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ МАТРИЦ ИМПЕДАНСОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ

Табаков Д. П., Майоров А. Г.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В работе [1] подробно рассмотрен метод аппроксимации собственных значений интегрального оператора для трубчатой вибраторной антенны. Там же, с целью получения аппроксимационных формул для собственных значений (СЗ), вычислены их списки $\vec{\xi}(x, y)$ и массивы собственных векторов (СВ) $\vec{\Phi}(x, y)$ для вибраторной антенны, в следующих диапазонах значений электрической длины L / λ и нормированного радиуса проводников вибратора a / λ :

$$x \equiv L / \lambda \in [10^{-4}; 10], \quad y \equiv a / \lambda \in [10^{-4}; 10^{-1}].$$

В случае вибратора большого радиуса ($y > 10^{-2}$), для больших значениях электрической длины ($x > 10^{-2}$), в стандартных алгоритмах вычисления задачи на собственные значения, возникает проблема запутывания СЗ, вызванная их сортировкой по убыванию. В результате вычисления в соседних узлах x_i и x_{i+1} , СЗ одного порядка могут быть расположены под разными номерами в соответствующих списках $\vec{\xi}(x_i)$ и $\vec{\xi}(x_{i+1})$.

Предлагается алгоритм сортировки СЗ с использованием корреляции соответствующих СВ соседних частот x_i и x_{i+1} . Для этого введена матрица корреляций:

$$\vec{C}(x_i, x_{i+1}) = \vec{\Phi}(x_i) * \vec{\Phi}^T(x_{i+1}),$$

где $\vec{\Phi}(x_i)$ и $\vec{\Phi}(x_{i+1})$ - матрицы СВ соседних итераций. Из ортогональности СВ очевидно, что при $\Delta x \equiv x_i - x_{i+1} \rightarrow 0$, матрица корреляций становится единичной. Так же, при малом шаге Δx , значащие элементы матрицы $\vec{C}(x_i, x_{i+1})$ близки к единице, но вследствие запутывания СВ, не все из них расположены на диагонали. Отклонение от диагонали позволяет отследить соответствующий СВ, а затем и собственное значение, ввиду их однозначного соответствия.

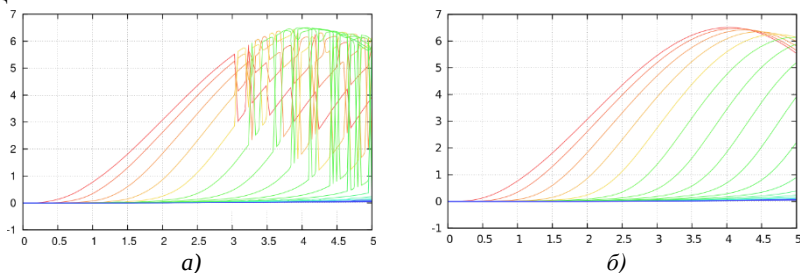


Рис.1. Зависимости собственных значений от X ; а) - без сортировки; б) - с сортировкой по корреляции СВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Майоров А.Г. Аппроксимация решения внутренней электродинамической задачи для тонкого трубчатого вибратора методом собственных функций // Труды учебных заведений связи. 2019. Т.5. №4. С.58-64.

TRACKING OF EIGENVALUES OF IMEDANCE MATRICES WHEN CHANGING THE FREQUENCY

Tabakov D. P., Mayorov A. G.

("Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics")

A tracking algorithm has been developed to keep the ordering of modes as consistent as possible over frequency.

МНГОВИТКОВАЯ КИРАЛЬНАЯ РАМКА: МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Табакоев Д. П., Валиуллин Р. М., Майоров А. Г.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)

Многовитковая киральная рамка (МКР) – это рамка, состоящая из единственного проводника L с радиусом ε , геометрия которой описывается следующими уравнениями:

$$L: \mathbf{r}(t) = \mathbf{x}_0 X(t) + \mathbf{y}_0 Y(t) + \mathbf{z}_0 Z(t), \quad t \in [0; 2\pi];$$

$$\begin{cases} X(t) = r_x \sin(t) + R_x \sin((N-1)t); \\ Y(t) = r_y \cos(t) - R_y \cos((N-1)t); \\ Z(t) = r_z \sin(sNt). \end{cases}$$

$X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$ – параметрические функции; R_x , R_y – полуоси эллипса образующей рамки; r_x , r_y , r_z – полуоси эллипсов, ограничивающих полость внутри проводника L ; N – число витков проводника; $s = \pm 1$ – коэффициент, определяющий левую или правую закрутку проводника в рамке; t – переменная.

МКР можно рассматривать как самостоятельный излучатель, так и в составе антенных решеток, базового элемента метаструктур, которые обладают свойством киральности [1]. Киральность – это свойство объекта, которое означает несовпадение объекта со своим отражением в плоском зеркале (асимметричность). Киральная структура (метаматериал) – это материал, в котором используются проводящие элементы киральной (асимметричной) формы, которые равномерно размещены в диэлектрической среде

Геометрия рамки, описанная данными уравнениями представлена на рис. 1.

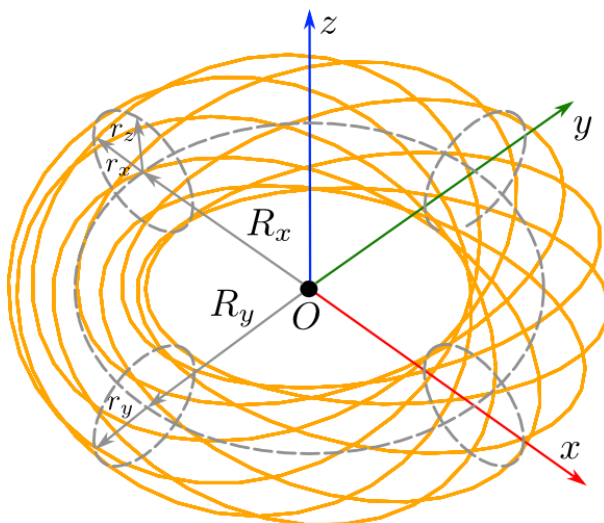


Рис.1. Геометрия цилиндрической спиральной структуры

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Осипов О.В. Отражающие, волноведущие и излучающие структуры с киральными элементами. М.: Радио и связь, 2006. 279 с.

MULTI-ROLL CHIRAL FRAME: MATHEMATICAL MODEL, APPLICATION

Tabakov D. P., Valiullin R. M., Majorov A. G.,
("Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics")

The description equations for the multi-round chiral frame are presented, and its geometry is presented.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХЗАХОДНОГО СПИРАЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЛЮБОЙ ТОЧКЕ ПРОСТРАНСТВА

*Табакон Д. П., Валиуллин Р. М., Майоров А. Г.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Одна из возможных реализаций двухзаходного спирального элемента представлена на рис.1. Спираль состоит из двух проводников, повернутых относительно друг друга на 180 градусов по оси Oz . В данном случае шаг намотки равен $2\pi h$. Максимальный и минимальный радиус спирали обозначены на рисунке как $r_{\max}$ и $r_{\min}$. Стоит отметить, что $r_{\min} > 0$ проводники в спиральном элементе электрически не контактируют между собой [1].

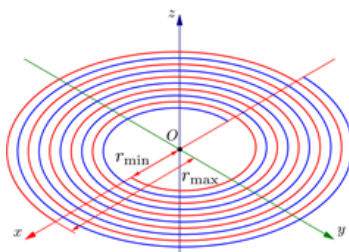


Рис.1. Геометрия двухзаходного спирального элемента

Общее уравнение архимедовой спирали записывается следующим образом:

$$\mathbf{r}_s(t, \xi) = (r_{\min} + ht) \cos(st - \xi) \mathbf{x}_0 + (r_{\min} + ht) \sin(st - \xi) \mathbf{y}_0,$$

где: $t \in [0, 2\pi Nl]$ (ненатуральный параметр), $r_{\max} = r_{\min} + 2\pi h Nl$, Nl — число витков спирали, h — коэффициент намотки, $s = \pm 1$ (для определения левой или правой намотки спирали), ξ — определяет

угол поворота спирали вокруг Oz. Натуральный параметр описывается следующим выражением:

$$l(t) = \int_0^t |\mathbf{l}(t')| dt';$$

где

$$\mathbf{l}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \mathbf{x}_0 s(r_{\min} + ht) \sin(\xi - st) + h \cos(\xi - st) + \\ + \mathbf{y}_0 s(r_{\min} + ht) \cos(\xi - st) - h \sin(\xi - st)$$

— вектор касательной к точке t , образующей спираль. Параметрические уравнения для проводников двухзаходной спирали можно записать следующим образом: $L: L_1 = \mathbf{r}_1(l, 0), L_2 = \mathbf{r}_2(l, \pi), l \in [0, L]$. С помощью получившихся выражений можно вычислить комплексное распределение токов в излучающей структуре с помощью СЛАУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электродинамические методы проектирования устройств СВЧ и антенн / Неганов В.А., Нефедов Е.И., Яровой Г.П. Электродинамические методы проектирования устройств СВЧ и антенн; под ред. Неганова В.А. М.: Радио и связь, 2002. 416 с.

A MATHEMATICAL MODEL OF A DOUBLE-ENTRY SPIRAL ELEMENT FOR CALCULATING THE ELECTROMAGNETIC FIELD AT ANY POINT

Tabakov D. P., Valiullin R. M., Majorov A. G.

("Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics")

Geometry of spiral element with two conductors, parametric equations for wires.

УДК 621.396

ЭЛЛИПТИЧЕСКИЙ СПИРАЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ, СПЕКТРАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ РАЗЛОЖЕНИЯ МЕТОДОМ СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ

Табакон Д. П., Валиуллин Р. М., Майоров А. Г.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Спиральные элементы, в частности эллиптический спиральный элемент (ЭСЭ) можно рассматривать как самодостаточную антенну, так и в качестве элемента для создания метаматериалов с киральными свойствами [1]. Геометрия ЭСЭ представлена на рис.1.

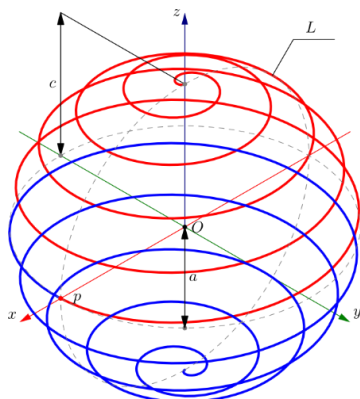


Рис. 1. Геометрия ССЭ

Параметрическое уравнение для образующей L спирали:

$$\mathbf{r}(t) = a \cos(\xi t) \cos t \mathbf{x}_0 + c \cos(\xi t) \sin t \mathbf{y}_0 + c \sin(\xi t) \mathbf{z}_0,$$

где: $t \in [0, 2\pi N_l]$ – параметр, не являющийся натуральным;
 $\xi = 1 / (2N_l)$ – определяет угол поворота спирали вокруг Oz ; N_l –
число витков спирали.

Внутренняя электродинамическая задача для ЭСЭ формулируется на основе интегральных представлений электромагнитного поля в виде интегрального уравнения.

Интегральный оператор (ИО) уравнения при решении внутренней задачи целесообразно спроецировать с помощью функций:

$$T_n^{(0,0)}(t) = \begin{cases} \cos(n\pi t / 2) & n - \text{нечетное} \\ \sin(n\pi t / 2) & n - \text{четное} \end{cases}, \quad t \in [-1; 1]; \quad n = 1, 2, \dots, \infty.$$

Данная система функций близка к собственным функциям ИО тонкого прямолинейного проводника [2]. Собственные функции $\Phi_n(t)$ (спектральные коэффициенты разложения) можно представить в виде: $\Phi_n(t) = \sum_k A_{k,n} T_k^{(0,0)}(t)$, где $A_{k,n}$ – спектральные коэффициенты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрцев О.А., Рунов А.В., Казарин А.Н. Спиральные антенны. М.: Сов радио, 1974. 223 с.
2. Табаков Д.П., Майоров А.Г. Аппроксимация решения внутренней электродинамической задачи для тонкого трубчатого вибратора методом собственных функций // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 4. С. 36–42.

ELLIPTIC SPIRAL ELEMENT, SPECTRAL COEFFICIENTS OF DECOMPOSITION BY EIGENFUNCTIONS METHOD

***Tabakov D. P., Valiullin R. M., Majorov A. G.,
("Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics")***

The geometry of the elliptic spiral element and the formula for spectral coefficients are presented.

ВЗАИМОСВЯЗЬ АЛГОРИТМА РАБОТЫ БОРТОВОГО РАДИОЛОКАТОРА И КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА СКАНИРОВАНИЯ

***Голубцов А. В., Макарычев Н. А. Марьевский С. В.,
Назаров А. В.***

(Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седякова»)

На сегодняшний день в бортовых радиолокаторах широко применяются активные фазированные антенные решетки (АФАР) сантиметрового диапазона длин волн, обеспечивающие широкоугольное электронное сканирование области цели. Электронный способ сканирования имеет неоспоримое преимущество в быстродействии по сравнению с механическим, обусловленное меньшей инерционностью электрических схем за счет постоянных времени, на несколько порядков отличающихся от механических. Однако использование электронного сканирования не всегда оправдано или представляется возможным, поэтому вопрос разработки радиолокаторов, использующих механические устройства сканирования, остается актуальным.

При выборе алгоритма поиска и сопровождения цели бортовым радиолокатором, в котором управление диаграммой направленности антенной системы осуществляется механическими приводами, необходимо учитывать, что особенности конструкции устройства сканирования будут напрямую влиять на скорость обзора пространства. Различные механические конструкции математически могут описываться по-разному. Из этого следует, что для реализации высокоскоростного обзора пространства, необходимо: во-первых, построить математические модели возможных вариантов конструкции устройства сканирования, во-вторых, рассчитать предельно возможные скорости перемещения сканирующего луча в области цели, в-третьих, выбрать оптимальный закон сканирования, при котором область цели будет

просмотрена полностью, а электроприводы механического устройства сканирования будут работать в режимах, близких к предельным. Оптимальный, с точки зрения механической системы, закон сканирования не обязательно окажется оптимальным с точки зрения построения радиолокационного изображения.

Таким образом, конструкция устройства сканирования, являясь ограничивающим фактором в вопросе скорости обзора области цели, будет влиять не только на массогабаритные характеристики радиолокатора, но также будет определять требуемую вычислительную мощность и алгоритм работы.

INTERRELATION OF THE OPERATING ALGORITHM OF THE ON-BOARD RADAR AND THE CONSTRUCTION OF THE SCANNING DEVICE

***Golubtsov A.V., Makarichev N.A., Maryevsky S.V.,
Nazarov A.V.***

*(“Branch of FSUE RFNC VNIIEF NIIS named after Yu.E.
Sedakova”)*

The article describes the advantages and disadvantages of electronic and mechanical methods for controlling on-board radar antenna pattern for scanning the target area. The feasibility of mechanical scanning method in the EHF range is considered. The requirements for the implementation of high-speed space scanning are presented.

УДК 621.372.832.8

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПАСА НА РЕГУЛИРОВКУ ЦИРКУЛЯТОРОВ НА СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Михалицын Е. А.

(Филиал РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седатова»)

Циркулятор на сосредоточенных элементах представляет собой гибридное СВЧ-устройство, куда входят сосредоточенные реактивные элементы, распределенные линии, функциональный ферритовый элемент с системой возбуждения на переплетенных полосковых проводниках (изодуктор) и систему подмагничивания [1]. В метровом и дециметровом диапазонах длин волн для таких устройств могут быть заданы эквивалентные схемы на сосредоточенных элементах.

В данной работе дается описание математической модели оценки величины технологического запаса на электрическую регулировку циркуляторов на сосредоточенных элементах с асимметрией плеч, вызванной погрешностями изготовления устройства. Модель интегрирована в САПР СВЧ-устройств AWR Microwave Office. При моделировании фактор асимметрии приближенно задается отклонением номиналов паразитных элементов схемы замещения системы переплетения проводников Y-сочленения циркулятора.

В эквивалентной схеме Y-сочленения с асимметрией учитываются паразитные емкости связи проводников в точках их пересечения. Паразитные индуктивности нецентральных областей проводников условно разделены на две части: соответствующие периферии ферритового элемента с квази-линейной поляризацией электромагнитного поля и соответствующие областям с эллиптической поляризацией электромагнитного поля. В схему введены сопротивления, отражающие наличие активных потерь в ферритовом материале и проводниках системы переплетения. На

общей схеме широкополосного асимметричного циркулятора (рис. 1) компоненты, задающие асимметрию, содержатся в шестиполоснике, соединенном с матрицей $[S_u]$. Последняя определяется по свойствам эквивалентных индуктивностей для собственных возбуждений циркулятора. Асимметрия элементов общего контура широкополосного циркулятора учитывается в записи элементов матрицы сопротивлений $[Z_g]$. В докладе представлены результаты тестирования модели.

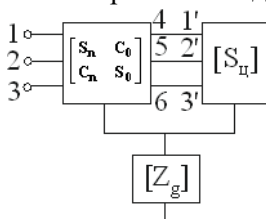


Рис. 1. Общая схемная модель широкополосного асимметричного циркулятора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин А.В. Проектирование малогабаритных ферритовых развязывающих устройств на сосредоточенных элементах: дис. ... канд. тех. наук: 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. Нижний Новгород, 2014. 293 с.

THE ELECTRICAL TUNING STOCK EVALUATION MODEL OF LUMPED ELEMENTS CIRCULATORS

Mikhalitsyn E. A.

*(“Branch of FSUE RFNC VNIIEF NIIS named after Yu.E.
Sedakova”)*

The electrical tuning stock evaluation model of lumped elements circulators is presented here. The modeling results are demonstrated.

УДК 621.396.674.37(1)

РАСЧЕТ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МНОГОЗАХОДНОЙ КОНИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ, РАСПОЛОЖЕННОЙ НАД БЕСКОНЕЧНО ПРОТЯЖЕННЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЭКРАНОМ

Морозов С. В., Васильев Е. В.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В рамках работы для структуры, геометрия и основные параметры которой представлены в [1] рассчитывается зависимость входного сопротивления от частоты. Исследование проводилось в диапазоне частот от 30 до 606 МГц с шагом равным 6 МГц. На графике (Рис.1) показаны действительная (Real) и мнимая (Imaginary) часть входного сопротивления конической спиральной антенны.

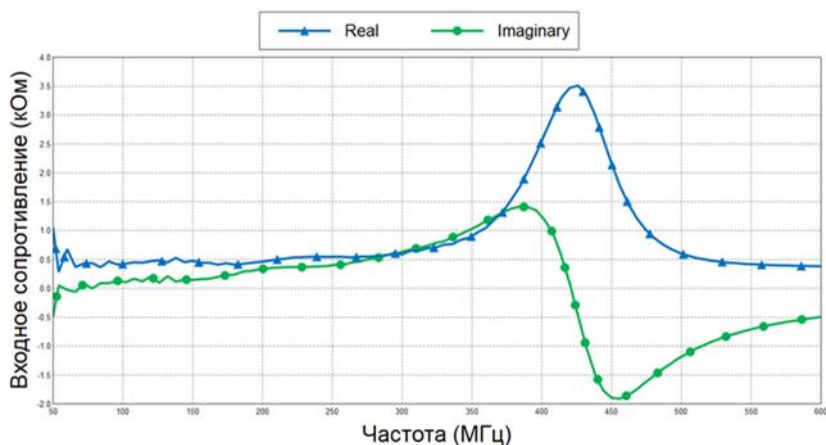


Рис.1. Зависимость входного сопротивления от частоты

Из графиков видно, что равномерность входного сопротивления сохраняется в диапазоне частот от 100 до 300 МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов, С.В., Васильев, Е.В. Моделирование многозаходной конической спиральной антенны, расположенной над бесконечно протяженным металлическим экраном // XVIII Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов» ФиТПВП-2020, Самара. 2020. С. 128-129.
2. Табаков, Д. П., Морозов, С. В., Куприянов, Д. А. Электро-динамический анализ тонкопроволочных излучающих структур с поворотной симметрией // Радиотехника. 2018. № 3. С. 60 – 64.

CALCULATION OF THE INPUT RESISTANCE OF A MULTI-INPUT CONICAL SPIRAL ANTENNA, LOCATED OVER INFINITELY EXTENDED METAL SCREEN

Morozov S. V., Vasil'ev E. V.

*("Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics")*

The paper calculates the input resistance of a conical spiral antenna located above an infinitely extended metal screen. The graphs show that the uniformity of the input resistance is maintained in the frequency range from 100 to 300 MHz.

УДК 621.396.674.37(1)

РАСЧЕТ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ YAGI-UDA РАСПОЛОЖЕННОЙ НАД ЭКРАНОМ С УЧЕТОМ СИММЕТРИИ

Морозов С. В., Мошков Н. Д.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В работе производится решение внешней задачи электродинамики, т.е. нахождение поля в дальней зоне, для антенны типа Yagi-Uda расположенной над экраном. В модели применяется учет симметрии структуры для сокращения размерности задачи и снижения времени на ее решение. Использовалась симметрия относительно плоскости XoZ . Антенна состоит из активного элемента (диполь), рефлектора и трех директоров (Рис.1). Экран был смоделирован в виде диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 10$ и проводимостью $V = 10^{-3}$. Антенна была подвешена на высоте 3 метра над поверхностью экрана. Для решения задачи применялся метод моментов. Длина одного сегмента составила 0.055. Число сегментов – 30. Расчет проводился на единственной частоте 400 МГц.

Расчет диаграмм направленности производился для двух случаев: с учетом экрана и без учета экрана. На рисунке 2 показаны результаты расчета диаграмм направленности в Дб для этих случаев. По результатам

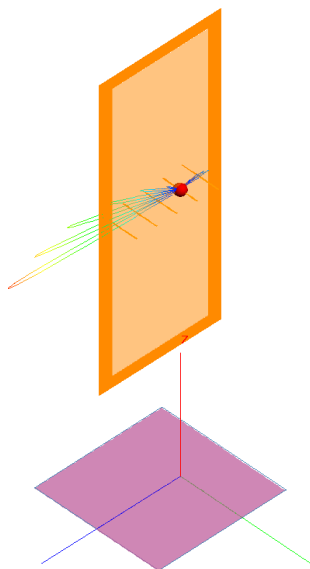


Рис.1. Геометрия антенны

расчета видно, что экран вносит достаточно сильные искажения в конечный вид диаграммы направленности.

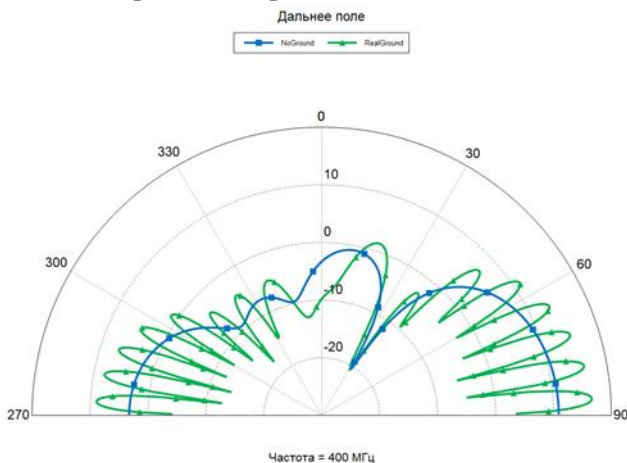


Рис.2. Результат расчета диаграмм направленности для двух случаев: без экрана (W) и с экраном (V)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков, Д. П., Морозов, С. В., Куприянов, Д. А. Электро-динамический анализ тонкопроволочных излучающих структур с поворотной симметрией // Радиотехника. 2018. № 3. С. 60 – 64.

CALCULATION OF THE RADIATION PATTERN OF THE YAGI-UDA ANTENNA LOCATED ABOVE THE SCREEN, TAKING INTO ACCOUNT THE SYMMETRY

Morozov S. V., Moshkov N. D.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The paper solves the external problem of electrodynamics, i.e. finding the field in the far zone, for an antenna of the Yagi-Uda type located above the screen.

УДК 621.396.674.37(1)

РАСЧЕТ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АНТЕННЫ, РАЗМЕЩЕННОЙ НА СТЕКЛЕ АВТОМОБИЛЯ

Морозов С. В., Сурков И. С.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В работе производится расчет входного сопротивления тонкопроволочной [1] антенны расположенной на ветровом стекле автомобиля. Ветровое стекло может состоять из нескольких слоев, состоящих из различных сред.

В рассматриваемой модели ветровое стекло состояло из трех слоев диэлектрика: двух слоев стекла и заключенным между ними слоем поливинилбутиральной пленки. Параметры сред были выбраны следующие: $tg\delta = 0.03$, $\epsilon = 7$, $h = 2.1\text{мм}$ - для слоев стекла и $tg\delta = 0.05$, $\epsilon = 3$, $h = 0.76\text{мм}$ - для слоя пленки, где $tg\delta$ - тангенс угла диэлектрических потерь, ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость, h - толщина слоя.

Антенна в виде тонкопроволочного вибратора была расположена между слоями диэлектриков, но модель позволяет размещать антенну и на поверхности внешнего слоя.

Геометрия модели автомобиля с размещенной на лобовом стекле антенной представлена на рис. 1.

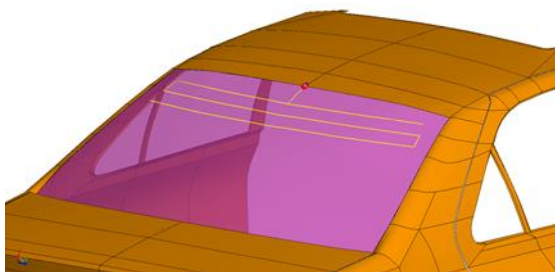


Рис.1. Геометрия рассматриваемой модели

Был проведен расчет зависимости входного сопротивления в диапазоне частот от 87.5 до 108 МГц. Результаты расчета показаны на рис. 2.

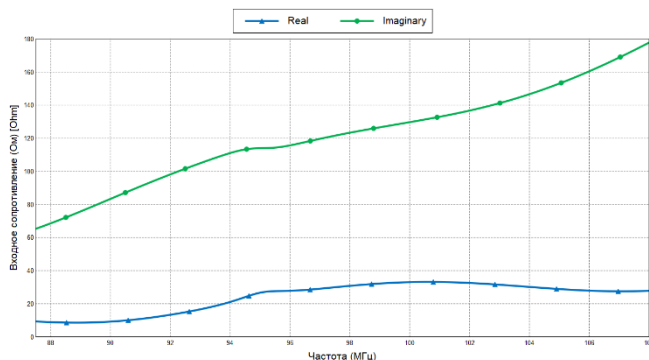


Рис.2. Зависимость входного сопротивления антенны от частоты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П., Морозов С.В. Математическая модель широкополосного тонкопроволочного электрического вибратора // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2020. Т. 18. №4. С. 34 – 40.

CALCULATION OF THE INPUT RESISTANCE OF THE ANTENNA PLACED ON THE CAR WINDOW

Morozov S. V., Surkov I. S.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

Calculate the input impedance of a windscreen antenna constructed from wires. The windscreen consists of a layer of glass and a layer of foil.

ВЫБОР КОНТРОЛЬНОЙ ТРАССЫ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ВНЕЗАПНЫХ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Нестеров В. И.

(ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный
университет»)

Существенной особенностью СДВ метода обнаружения внезапных ионосферных возмущений (ВИВ) является относительная простота организации наблюдений и возможность дистанционного контроля удаления от точки наблюдения.

Пример записи внезапных фазовых аномалий, зарегистрированных на трассах различной протяженности и ориентации от станций радионавигационной системы «Омега» приведен на рис.1, где показано событие 04 сентября 1982 г., когда случились 2 типичных ВИВа: первое с резким изменением фазы и второе - «бухтообразное».

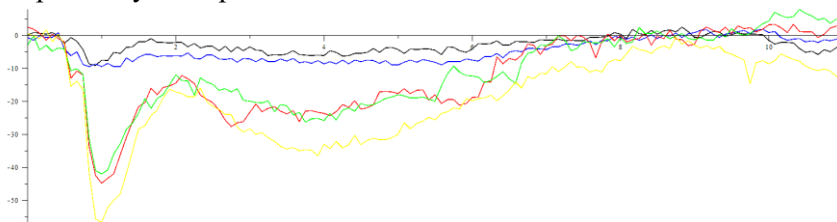


Рис. 1. Изменение фазы принимаемого сигнала во время ВИВ 04,09,82
(Япония 10.2 кГц - черный, Япония 13.6 кГц - синий, Гавайи 10.2 кГц - красный,
Гавайи 13.6 кГц - зеленый, Австралия 13.6 кГц - желтый)

Величину поправки можно оценить по результатам СДВ измерений на контрольной трассе по следующей формуле [1]:

$$\Delta\varphi_{расч} = \Delta\varphi_{конт} \frac{R_i f_k}{R_k f_i} \sqrt{\frac{\cos(X_i)}{\cos(X_k)}},$$

где $\Delta\varphi_{\text{конт}}$ – величина измеренных фазовых аномалий на контрольной трассе; R_k, R_i – длина освещенной части контрольной и корректируемой трасс, соответственно; f_i, f_k принимаемые частоты на i трассе и контрольной; $\overline{\cos(X_i)}, \overline{\cos(X_k)}$ среднее значение косинуса зенитного угла Солнца на корректируемой и контрольной трассах, соответственно.

Основным критерием для выбора контрольной трассы является минимальное отклонение стандартного отклонения между измеренной фазой отклонения принимаемого сигнала и вычисленными значениями по вышеприведенной формуле. Как показал анализ, при данном примере в качестве контрольной необходимо использовать трассу Австралия - Хабаровск. Однако для более детального анализа необходимо рассмотреть значительное число событий ВИБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демькин С.М., Кищук В.П. Проявления ВИБ на высокоширотных трассах // VIII Межведомственный семинар по распространению километровых и более длинных волн. Омск: Омский педагогический институт им. А.М. Горького. 1982. С.17-19.

SELECTION OF THE CONTROL PATH FOR PREDICTING SUDDEN IONOSPHERIC DISTURBANCES

Nesterov V. I.

(“Pacific National University”)

The choice of the control path for sudden ionospheric disturbances is considered. The selection criterion is the minimum value of the standard deviation. In this example, the control path is Australia - Khabarovsk.

ДИСПЕРСИОННЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕМНЫХ И ПЛАНАРНЫХ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ГЕТЕРОГЕННЫХ СВОЙСТВ

Нещерет А. М.^{1,2}

¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)

В настоящее время поиск новых подходов к совершенствованию антенн и устройств антенно-фидерного тракта (АФТ) существенно активизировался в связи с повышением требований к современным телекоммуникационным системам.

Одним из перспективных подходов к созданию антенн и устройств АФТ нового поколения является использование метаматериалов. Однако, поскольку метаматериалы являются сложными, резонансными структурами с точки зрения электродинамики, существует актуальная научно-техническая задача разработки их корректных моделей, адекватно описывающие их электрофизические свойства.

Для описания частотных зависимостей эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей киральных метаматериалов в настоящее время широко используются дисперсионные модели Лоренца:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_0 \left(\varepsilon_{\max} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{\max})\omega_0^2}{\omega_0^2 + i2\delta_e\omega - \omega^2} \right), \mu(\omega) = \mu_0 \left(\mu_{\max} + \frac{(\mu_s - \mu_{\max})\omega_0^2}{\omega_0^2 + i2\delta_h\omega - \omega^2} \right) \quad (1)$$

где δ_e , δ_h - соответствующие коэффициенты демпфирования.

Для описания частотных зависимостей параметра киральности метаматериала используется модель Кондона:

$$\chi(\omega) = \frac{\beta_0 \omega_0^2 \omega}{\omega_0^2 + i2\delta_x \omega_0 \omega - \omega^2}, \quad (2)$$

В ряде случаев, значения диэлектрической проницаемости контейнера, в котором размещаются киральные элементы, и проницаемости самих элементов метаматериала могут различаться. Для учета свойств гетерогенности используются модель Джеймса Клерка Максвелла Гарнетта, а также Бруггемана [1].

Использование данных дисперсионных моделей позволит учитывать гетерогенные свойства, а также осуществлять корректное моделирование излучающих структур на основе различных типов киральных метаматериалов [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аралкин М.В., Дементьев А.Н., Осипов О.В. Использование моделей Максвелла Гарнетта и Бруггемана для описания гетерогенности кирального метаматериала на основе гаммадионов // Инфокоммуникационные технологии. 2020. Т. 18. №4. С. 391-402.

2. Нещерет А.М. Метод расчета двумерной функции распределения плотности тока по излучающей структуре на основе киральных метаматериалов // Радиотехника. 2021. Т.85. № 7. С. 50 – 61.

DISPERSION MODELS OF VOLUMETRIC AND PLANAR CHIRAL METAMATERIALS TAKING INTO ACCOUNT HETEROGENEOUS PROPERTIES

Neshcheret A. M.

(¹JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,

*²“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

The work is devoted to the study of dispersion models of volume and planar chiral metal materials, taking into account their heterogeneous properties.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НЕВЗАИМНЫХ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Нещерет А. М.^{1,2}

¹АО «Самарское инновационное предприятие радиосистем»,

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)

Большой интерес в современной электродинамике связан с исследованием киральных метаматериалов, обладающими свойствами нехарактерными для природных материалов. Исследование таких метаматериалов проводится с использованием элементов феноменологической теории киральных сред Линделла-Сиволы. В середине прошлого столетия Б. Телледжен высказал предположения о возможности существования невзаимных сред, в которых их электрофизические характеристики зависят в т.ч. и от направления взаимодействия с электромагнитной волной.

В предположение о том, что киральные среды в ряде случаев могут быть невзаимными, в материальные уравнения был введен обобщенный параметр электромагнитной связи между векторами $\vec{E}$ и $\vec{H}$ [1]:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_1 \vec{E} \mp i \xi \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \vec{H}, \quad \vec{B} = \mu_0 \mu_1 \vec{H} \pm i \xi \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \vec{E} \quad (1)$$

где $\xi = \beta + i\chi$ - обобщенный параметр электромагнитной связи, β - параметр невзаимности среды, χ - параметр киральности.

В связи с этим, в [2], были разработаны математические модели полосковых и конформных излучающих структур на основе невзаимных киральных метаматериалов (ИСН). Графики распределения действительной (а) и мнимой (б) частей плотности тока по полосковой ИСН при различных значениях параметра невзаимности приведены на рис. 1.

Как видно из данных графиков параметр невязимности существенным образом влияет на характеристики ИСН

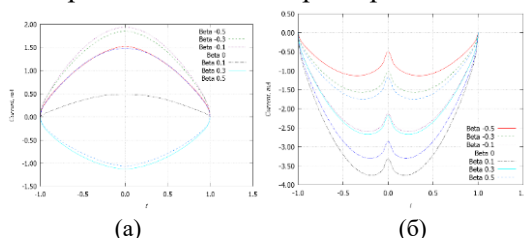


Рис. 1. Зависимости распределения плотности тока по ИСН при $\chi = -0.1$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев И.В., Осипов О.В., Панин Д.Н. Математическая модель неоднородного невязимного кирального метаматериала // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцевого и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами. 2020. С. 53 – 57.
2. Нещерет А.М. Метод расчета двумерной функции распределения плотности тока по излучающей структуре на основе киральных метаматериалов // Радиотехника. 2021. Т.85. № 7. С. 50 – 61.

DEVELOPMENT OF MODELS OF RADIATING STRUCTURES BASED ON NON-RECIPROCAL CHIRAL METAMATERIALS

Neshcheret A. M.

¹*JSC “Samara Innovative Business Radio Systems”,*
²*“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”*)

The work is devoted to the development of mathematical models of radiating structures based on non-reciprocal chiral metamaterials.

УДК 535.417.2

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОВОЛНОВЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

Павлов В. В., Насыбуллин А. Р., Самигуллин Р. Р.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

Микроволновые метаматериалы находят широкое применение в различных направлениях прикладной электродинамики [1]. Ключевыми характеристиками таких электромагнитных структур выступают эффективные диэлектрическая и магнитная проницаемости. Иногда единственным вариантом определения параметров метаматериалов является их непосредственное измерение. Процесс измерения подразумевает нахождение образца метаматериала в поле плоской волны, при этом измерение в открытом пространстве не всегда удобно. С целью уменьшения габаритов измерительной установки и облегчения процесса измерения предлагается устройство на основе несимметричной полосковой линии.

Рассмотрим конструкцию и принцип работы модели измерительного устройства. К воздушной полосковой линии подведены коаксиальные входы. Линия состоит из общего плоского земляного экрана, двух коротких отрезков 50 омной полосковой линии, соединенных с коаксиалами, и двух линейных переходов на 50 омную линию с большим расстоянием полоска до экрана. Вид модели и коаксиально-полоскового перехода представлены на Рис. 1 а), б). Графики коэффициентов отражения S_{11} и передачи S_{21} представлены на Рис. 1 в).

В проем между пластинами воздушной полосковой линии размещается измеряемый образец метаматериала. Поскольку среда между пластинами претерпевает изменение, то изменяются и коэффициенты передачи S_{21} и отражения S_{11} . По измеренным параметрам рассеяния или полученным в результате

электромагнитного моделирования решая обратную задачу, можно получить значения эффективных диэлектрической и магнитной проницаемостей образца метаматериала.

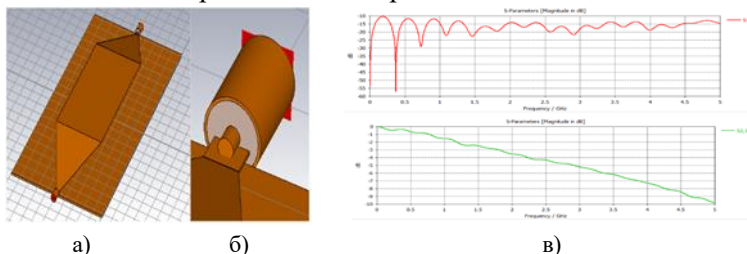


Рис. 1. Внешний вид а) модели измерительного устройства, б) контактных площадок и коаксиально-полоскового перехода. в) графики коэффициентов отражения S_{11} и передачи S_{21}

В силу не полного заполнения материалом сечения полосковой линии для увеличения точности измерения необходима процедура калибровки материалами с известными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Munk, B. *Metamaterials: Critique and Alternatives*. Hoboken: New Jersey, 2006. 185 p.

DEVICE FOR MEASURING OF PARAMETERS OF MICROWAVE METAMATERIALS

Pavlov V. V., Nasybullin A. R., Samigullin R. R.

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

This thesis discusses the results of development and modelling of device for measuring of parameters of microwave metamaterials (artificial dielectrics). Model of measuring device and the results of its calculation in the electrodynamic modeling environment will be presented here as well.

УДК 533.951

РАСЧЕТ ОТРАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ ОТ СЛОЯ ПЛАЗМЫ НА ИДЕАЛЬНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Панин Д. Н., Тихомирова А. А.

(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

В работе проведено численное моделирование взаимодействия плоской электромагнитной волны линейной поляризации с неоднородным слоем плазмы, располагающейся на идеально металлической поверхности. Расчет проводился на основе полученного ранее дифференциального уравнения для частичного коэффициента отражения [1]. На рис.1 представлены зависимости модулей коэффициентов отражения электромагнитной волны от нормированной частоты K для различных профилей электронной концентрации частиц.

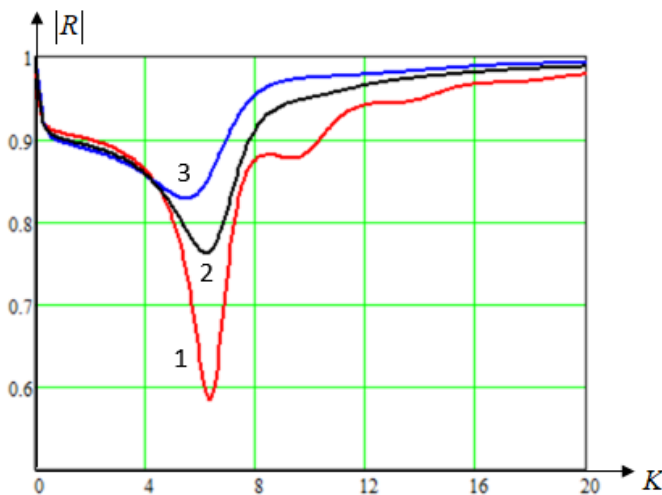


Рис. 1. Частотные характеристики модулей коэффициентов отражения волны Е-поляризации (1 – однородный, 2 – параболический, 3 – линейный профили)

При расчетах задавались следующие параметры: угол падения $\theta = \pi/4$, нормированная эффективная частота электрон-ионных столкновений $K_{\text{эф}} = 0,5$, максимальное нормированное значение плазменной частоты $K_{pm} = 5$. Исследуемые профили: $K_p(\xi) = K_{pm}$ – однородный, $K_p(\xi) = 4K_{pm}(1 - |1 - 2\xi|)$ – линейный, $K_p(\xi) = 4K_{pm}(1 - \xi)\xi$ – параболический; ξ – нормированная пространственная координата на толщину слоя плазмы. Из рис. 1 видно, что наиболее сильное поглощение в области плазменной частоты наблюдается для однородного пространственного профиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин Д.Н., Осипов О.В., Мишин Д.В., Кузнецов Я.М. Численный анализ отражений электромагнитной волны Е-поляризации от неоднородного слоя диэлектрика // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2019. Т. 22. №. 1. С. 10 – 15.

CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC WAVE REFLECTIONS FROM A PLASMA LAYER ON AN IDEAL METAL SURFACE

Panin D. N., Tikhomirova A. A.

("Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics")

In this paper, a numerical calculation of reflections of a plane electromagnetic wave of linear polarization from inhomogeneous layers of plasma located on an ideally metal surface is carried out. It is shown that the homogeneous layer absorbs the wave energy most strongly in the plasma frequency region.

**ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ
ОБОРУДОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ**

Пестовский И. Н.

(АО «Российский институт мощного радиостроения»)

Главной особенностью современных и перспективных мобильных многофункциональных приемопередающих радиотехнических комплексов является наличие в составе комплекса большого количества радиосредств различных видов и диапазонов, размещенных весьма компактно. В зависимости от конкретного назначения и принадлежности комплекса, в его составе могут одновременно работать средства радиосвязи (радиодоступа) ВЧ, ОВЧ и УВЧ диапазонов, спутниковой связи, радиорелейной связи, служебной транкинговой радиосвязи для ареала развертывания, позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), управления комплексом беспилотных летательных аппаратов и ряд других.

В этих условиях задача обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств комплекса существенно усложняется, а традиционные подходы к оцениванию обеспечения ЭМС [1] в ряде случаев оказываются не вполне адекватными новой ситуации. В частности, организация многоканальной радиосвязи в сети, обслуживаемой комплексом, на основе использования многодиапазонных приемопередатчиков обеспечивает работоспособность комплекса даже при значительном числе «пораженных» частот, поэтому требование безусловного отсутствия таких частот, по-видимому, избыточно.

В докладе показано, что совершенствование требований и подходов в области обеспечения ЭМС в компактных группировках радиосредств предполагает:

- дифференциацию радиосредств с точки зрения обеспечения ЭМС, с выделением группы;
- введение для остальных радиосредств требования обеспечения доступности заданного минимального канального ресурса с заданной вероятностью;
- развитие методологии расчета ЭМС в направлении создания методов и средств расчетного и экспериментального определения статистических характеристик доступности канального ресурса при одновременной работе всех радиосредств комплекса;
- разработку предложений по внесению изменений в соответствующие документы технического регулирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы управления использованием радиочастотного спектра и электромагнитная совместимость радиосистем / Бузов А.Л. [и др.] ; под ред. Быховского М.А. М.: Эко-Трендз, 2006. 376 с.
2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем / Бузов А.Л. [и др.] ; под ред. Быховского М.А. М.:Красанд, 2011. 552 с.

FEATURES OF ENSURING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF EQUIPMENT OF MULTIFUNCTIONAL TRANSCEIVER RADIO ENGINEERING COMPLEXES

Pestovsky I. N.

(“Russian Institute for Power Radioengineering”)

The features of providing EMC in a multi-functional compact grouping of radio equipment are considered.

УДК 621.396.49

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С НАПРАВЛЕННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ЯГИ-УДА ДЛЯ СВЯЗИ УКВ-ДИАПАЗОНА НИЖЕ 1 ГГц

Нечаев Ю. Б., Пешков И. В.

*(ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им.
И.А. Бунина»)*

В настоящее время возникает необходимость получения оптимальной геометрии антенной решетки (АР) совместно с алгоритмом оценки угловых координат сигналов с последующим цифровым формированием диаграммы направленности для УКВ-канала связи в зависимости от состояния атмосферы и типа подстилающей поверхности [1].

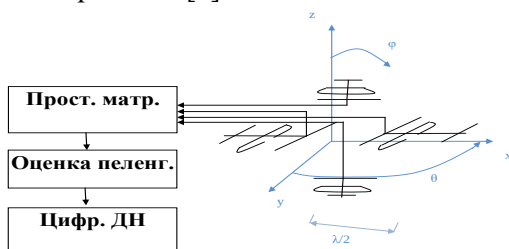


Рис. 1. Схематическое изображение ЦАР из антенн Уда-Яги

Рассмотрено цифровое диаграммообразование (рис. 1), применительно к каналам связи УКВ-диапазона 300 МГц. В качестве приемных геометрий выступают кольцевая, а также полусферная антенные решетки, составленные из элементов типа волновой канал [2]. Данная модель позволяет генерировать QPSK-сигнал с шумом, на которые наложена активная помеха и аддитивный шум.

На рис. 2 представлены результаты моделирования передачи сигнала в зависимости от расстояния. Антенная решетка в форме полусферы с последующей цифровой пространственной

фильтрацией позволяет увеличить дальность действия в сравнении с кольцевой АР.



Рис. 2. Вероятность битовой ошибки полезного сигнала на фоне помехи с шумом

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Липецкой области в рамках научного проекта 20-47-480002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ступницкий, М. М. Потенциал КВ-радиосвязи - для создания цифровой экосистемы России // Электросвязь : научно-технический журнал по проводной и радиосвязи, телевидению, радиовещанию. 2018. №5. С.49 – 54.
2. Пониматкин В.Е., Шпилевой А.А. Антенно-фидерные устройства систем связи: учеб. пособие. Калининград: РГУ им. И. Канта, 2010. 121 с.

STUDY OF A DIGITAL ANTENNA ARRAY WITH DIRECTIVE YAGI-UDA ANTENNAS FOR VHF COMMUNICATIONS BELOW 1 GHz

Nechaev Yu. B., Peshkov I. W.

(“Yelets State University named after I.A. Bunin”)

The digital antenna arrays equipped with Uda-Yagi elements simultaneously in the azimuthal and elevation planes is simulated for communication channels of the VHF equal to 300 MHz.

УДК 621.396.674.37(1)

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ
СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ
ТЕРМИНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ КОСМИЧЕСКОЙ
СВЯЗИ И ВЕЩАНИЯ ГРАЖДАНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

***Проценко М. Б.¹, Громоздин В. В.¹, Афонин И. Л.²,
Поляков А. Л.²***

*(¹ФГУП НИИР ИЦ «Омега», ²ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»)*

На терминальные устройства космической связи и вещания гражданского назначения в соответствии с п.5.13[1] должны быть сертификаты соответствия в области «Связь». Допустимые погрешности измерений контролируемых параметров терминальных устройств определены приказом Министерства информационных технологий и связи РФ от 22.08.2007 г. № 99 «Об утверждении правил применения земных станций спутниковой связи и вещания единой сети электросвязи РФ» [1].

ФГУП НИИР разработан целый ряд методик сертификационных испытаний терминальных устройств земных станций для работы с ИСЗ на геостационарной орбите в следующих полосах частот:

— на передачу: 5725 — 7025 МГц; 12750 — 13250 МГц; 13750 — 14500 МГц; 17300 — 18100 МГц; 27500 — 31000 МГц;
— на прием: 3400 — 4200 МГц; 4500 — 4800 МГц; 10700 — 12750 МГц; 17700 — 21100 МГц [2].

В частности, на рис. 1 показана структурная схема для измерения выходной мощности и стабильности несущей частоты передающего тракта ЗС.

В докладе представлен критический анализ и обозначены особенности современных методик сертификационных испытаний

терминальных устройств различных спутниковых служб (ФСС/РСС/ПСС).



Рис. 1. Структурная схема для измерения выходной мощности и стабильности частоты передающего тракта ЗС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства информационных технологий и связи РФ от 22.08.2007 г. №99 // Кодификация РФ. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Mininformsvyazi-Rossii-ot-22.08.2007-N-99/>, свободный. (дата обращения: 15.09.2021).
2. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС». М.: ПАО ЕЭС, 2016. 55 с.

FEATURES OF CONDUCTING CERTIFICATION TESTS OF TERMINAL DEVICES OF SPACE COMMUNICATION AND BROADCASTING FOR CIVIL PURPOSES

Protsenko M. B.¹, Gromozdin V. V.¹, Afonin I. L.², Polyakov A. L.²

(¹Testing center "Omega", ²Sevastopol State University")

The features of certification tests, of terminal devices of a fixed satellite service and interactive stations of fixed and broadcasting satellite services designed to work with artificial Earth satellites in geostationary orbit are considered.

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ
РАСЧЕТНЫХ СЕТОК В ЗАДАЧАХ
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ЗЕРКАЛЬНЫХ АНТЕНН**

Полянский И. С., Голяткин В. Р.

*(ФГКВООУ ВО «Академия Федеральной службы охраны
Российской Федерации»)*

В докладе для численного решения внутренней задачи электродинамического анализа антенных систем зеркального типа в приближении барицентрического метода [1] предлагается вычислительный алгоритм разбиения отражающих поверхностей антенны на элементарные подобласти – треугольные элементы. Процедура разбиения анализируемой области (триангуляции) рассматривается с позиции построения расчетной неструктурированной сетки. Исходные данные алгоритма – раскрыв области анализа (задается многоугольником [2]), функция кривизны отражающей поверхности и минимальный размер элемента сетки (шаг триангуляции). Алгоритм основан на комбинации метода продвигаемого фронта и построения триангуляции Делоне [3].

Коротко суть работы алгоритма заключается определении минимального отрезка, находящегося в составе текущего фронта, достраивания его до треугольника с соблюдением заданного в шага триангуляции. При этом третья вершина треугольника выбирается в зависимости от условий удаленности от вершин выбранного отрезка точек текущего фронта. После произведенного построения производится обновление фронта. При завершении процедуры формирования предварительной триангуляции по алгоритму продвигаемого фронта производится ее уточнение за счет изменения положения узловых точек и добавления новых узлов в сетку. Перестроение расчетной сетки реализуется с учетом

кривизны анализируемой поверхности и проверке выполнения условия Делоне на каждой итерации алгоритма.

Указанные алгоритмические особенности более подробно представляются в докладе с уточнением вопросов программной реализации сформированного решения при минимизации вычислительных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полянский И.С. О применении барицентрического метода в численном решении внутренней задачи электродинамики // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2018. Т.21, №3. С. 36-42.

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. 366-383.

3. Василевский Ю.В., Данилов А.А. Автоматизированные технологии построения неструктурированных расчетных сеток. // ООО “Физмалит”, 2016. 216 с.

COMPUTATIONAL FEATURES OF THE CONSTRUCTION OF NUMERICAL GRIDS IN PROBLEMS ELECTRODYNAMIC ANALYSIS MIRROR ANTENNAS

*Polyanskii I. S., Golyatkin V. R.
(The Academy “FGS Russian”)*

We consider the features of the procedure for constructing an unstructured grid in the field of analysis for solving the internal problem of electrodynamic analysis of mirror-type antenna systems. The essence of algorithm for constructing a computational grid is briefly considered.

УДК 621.391.82(075)

**КОМПЛЕКС МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ДИСЦИПЛИНЫ «ЭМС РЭС» ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
«РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И
КОМПЛЕКСЫ»**

Седельников Ю. Е., Веденькин Д. А., Потапова О. В.
*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)*

Серьезным прогрессом в области стандартизации продукции по требованиям ЭМС стало включение этой дисциплины, как обязательной, в ГОС для ряда направлений подготовки. Полноценное выполнение требований ФГОС сдерживается дефицитом методических разработок, в том числе учебной литературы по проблеме ЭМС радиоэлектронных средств (РЭС). Данная работа представляет разработанный в Казанском национальном исследовательском техническом университете на основе многолетнего опыта преподавания дисциплины ЭМС РЭС и используемый в учебном процессе комплекс учебно-методических материалов.

Комплекс включает:

1. Учебное пособие по одноименной дисциплине, представленное книгой «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» издательство «Юрайт», М.: 2021 -318 с. (рис. 1).
2. Пособие по практическим занятиям (рис. 2). Пособие содержит несколько разделов с кратким обзором необходимых теоретических сведений, а также задачи для самостоятельного решения.
3. Электронную презентацию лекционного курса - электронный конспект лекций. Презентация освещает все разделы перечисленные выше и представлена 324 слайдами – рис. 3.
4. Перечень контрольных вопросов, позволяющих оценить степень усвоения материала по дисциплине.



Рис. 1. Учебное пособие



Рис. 2. Пособие для практических занятий



Рис. 3. Слайды презентации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петровский В.И., Седельников Ю.Е. Электromagnetic compatibility of radio electronic means. М.: Радио и связь, 1986. 215 с.

THE COMPLEX OF MATERIALS FOR STUDY DISCIPLINE "ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF RADIO ELECTRONIC TOOLS"

Sedelnikov Yu. E., Vedenkin D. A., Potapova O. V.

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

This work represents a set of educational and methodical materials on EMC discipline. The methodological complex was developed at Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI.

УДК 621.396.67

АНАЛИЗ ТЕРМИНА «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ АНТЕННА» ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕХНОЛОГИЯМ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ 5G

Проценко М. Б.¹, Громоздин В. В.¹, Афонин И. Л.^{1,2},

Головин В. В.^{1,2}, Щекатурин А. А.^{1,2}

*(¹ФГУП НИИР ИЦ «Омега», ²ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»)*

Особенности технологий беспроводной связи 5G, в части касающейся используемых антенных систем (MIMO-антенн), базируются на пространственно-временной, пространственно-поляризационной обработке сигналов [1]. Используемые MIMO-антенны часто называют «интеллектуальными или smart антеннами», однако данные термины зачастую не определены или их определение не полностью описывают закладываемые в MIMO-антенны возможности.

«Интеллектуальная антенна» конструктивно представляет собой антенную решетку (АР) с автоматическим управлением характеристиками излучения, реализуемым в блоке обработки сигналов, иногда с использованием диаграммообразующей схемы.

В зависимости от формируемого режима излучения антенной решеткой различают [2, 3]:

- режим однонаправленного излучения (однолучевая АР, фазированная АР);
- режим многолучевого излучения (многолучевая АР);
- режим сканирующего излучения (АР с электрическим, частотным, фазочастотным сканированием);
- адаптивный режим излучения (адаптивная АР);
- режимы пространственного и поляризационного разнесения.

Как видно из представленного перечня режимов и соответствующих названий антенных решеток нет названия

антенной решетки, которое бы объединяло разные режимы излучения.

В докладе анализируются разнообразные термины и определения антенных решеток и предлагаются для обсуждения возможные варианты применительно к термину «интеллектуальная антенна» беспроводных устройств связи 5G.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Physical channels and modulation. (3GPP TS 38.211 version 16.6.0 Release 16) // ETSI. URL: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138200_138299/138211/16.06.00_60/ts_138211v160600p.pdf, свободный. (дата обращения 05.09.2021).
2. ГОСТ 23282-91 Решетки антенные // Термины и определения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015753>, свободный. (дата обращения 21.09.2021).
3. ГОСТ Р 56159-2014 Решетки антенные приемные с цифровой обработкой сигналов и их характеристики // Основные параметры. Технические требования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113834>, свободный. (дата обращения 21.09.2021).

ANALYSIS OF THE TERM "INTELLIGENT ANTENNA" APPLICABLE TO 5G WIRELESS TECHNOLOGIES

***Protsenko M. B.¹, Gromozdin V. V.¹, Afonin I. L.^{1,2},
Golovin V. V.^{1,2}, Shchekaturin A. A.^{1,2}***

(¹Testing center "Omega", ²Sevastopol State University")

In the paper the various terms and definitions of antenna arrays are analyzed. Possible options for the term "intelligent antenna" of 5G wireless communication devices are proposed for discussion.

УДК 621.396.67

РЕАЛИЗАЦИЯ АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ

Проценко М. Б.¹, Громоздин В. В.¹, Афонин И. Л.^{1,2},

Головин В. В.^{1,2}, Щекатурин А. А.^{1,2}

*(¹ФГУП НИИР ИЦ «Омега», ²ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»)*

Неотъемлемой частью аттестации и сертификации антенных систем является измерение их характеристик излучения. При этом такие измерения в естественных условиях, в том числе на открытых полигонах, из-за сложной электромагнитной обстановки существенно затруднены. Традиционные безэховые камеры для измерений характеристик антенн имеют ограниченные габаритные размеры, что определяет актуальность антенных измерений в ближней зоне.

Один из основных подходов в теории антенных измерений в ближней зоне базируется на амплифазометрическом методе, суть которого сводится к измерениям амплитудно-фазового распределения напряженности электромагнитного поля в ближней зоне антенны и последующим его пересчетом в полную трехмерную диаграмму антенны в дальней зоне. В зависимости от используемых алгоритмов пересчета, основанных или на многократном «прямом» суммировании, или быстром преобразовании Фурье, определяется эффективность амплифазометрического метода [1].

Практическая реализация амплифазометрического метода антенных измерений сопряжена с рядом трудностей, таких как: высокие требования к точности перемещения измерительной антенны в направлении, перпендикулярном волновому фронту испытываемой антенны; передача сигнала от подвижной измерительной антенны к неподвижному измерительному анализатору; повышенные требования к частотной стабильности и др. [1]. Отечественные и зарубежные производители оборудования

предлагают различные варианты комплексов для антенных измерений в ближней зоне, в том числе с использованием амплифазометрического метода.

В докладе представлены возможные реализации измерительных комплексов для антенных измерений в ближней зоне, такие как R&S®TS8991 [2]; РЛТГ.411734.001 [3], анализируются их метрологические и технические характеристики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захарьев Л.Н., Леманский А.А., Турчин В.М. Методы измерения характеристик антенн СВЧ ; под ред. Цейтлина Н.М. М.: Радио и связь, 1985. 368 с.

2. Испытательная система для измерения характеристик беспроводной связи R&S®TS8991. URL: https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/ts8991-productstartpage_63493-8444.html, свободный (дата обращения 22.09.2021).

3. Комплекс автоматизированный измерительно-вычислительный для измерения радиотехнических характеристик антенн РЛТГ.411734.001 URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/76422-19-rltg411734001>, свободный. (дата обращения 22.09.2021).

REALIZATION OF ANTENNA MEASUREMENTS IN THE NEAR ZONE

***Protsenko M. B.¹, Gromozdin V. V.¹, Afonin I. L.^{1,2},
Golovin V. V.^{1,2}, Shchekaturin A. A.^{1,2}***

(¹Testing center "Omega", ²Sevastopol State University")

In the paper the possible realizations of measuring systems for antenna measurements in the near field, such as R&S®TS8991 [2]; RTG.411734.001 [3] are presented. Their metrological and technical characteristics are analyzed.

УДК 621.396, 621.372

РАСЧЕТ СВЧ-СТРУКТУР ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕМЕНТОВ С БОЛЬШИМИ ПОТЕРЯМИ

Бударагин Р. В., Радионов А. А., Саласенко З. Ю.

*(ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический
университет им. Р.Е. Алексеева»)*

При создании оконечных СВЧ нагрузок необходимо вводить в конструкцию элементы с омическими потерями, величина которых на много порядков больше, чем у потерь с неидеальными стенками волновода. В докладе предложен расчет электродинамических характеристик СВЧ нагрузки, выполненной на основе коаксиального волновода, частично заполненного поглощающим материалом.

Рассмотрим электродинамическую модель (рис.1) и выделим две области: *I* и *II*. *I* – коаксиальный волновод с идеально проводящими стенками. *II* – короткозамкнутый на конце двухслойный коаксиальный волновод. Внутри волновода к экрану прилегает керамическая втулка с омическими потерями. Область между втулкой и центральным проводником заполнена воздухом.

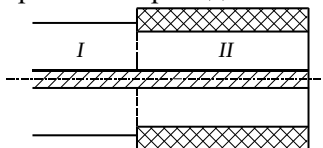


Рис. 1

Считаем, что из коаксиального волновода на структуру падает основная *T*-волна единичной амплитуды [1]. В этом случае на нерегулярностях возбуждаются только симметричные волны электрического типа. Таким образом, поле дифракции в *I* представляется в виде падающей *T*-волны и набора отраженных собственных волн коаксиального волновода, в *II* поле – в виде набора стоячих волн.

$Re(\tilde{\epsilon}_k)$ материала вставки берется из справочника для данного типа керамики, а $Im(\tilde{\epsilon}_k)$ определяется на основании электродинамической модели с использованием зависимости КСВН от частоты (рис.2), экспериментально полученной для структуры с неоптимизированными геометрическими параметрами.

В результате определяем зависимость $Im(\tilde{\epsilon}_k)$ от частоты (рис. 3), которая используется для оптимизации геометрических параметров конструкции нагрузки. Оптимизация (КСВН<1,2) для рабочей полосы частот от 830 до 860 МГц на рис.4, где приведена экспериментальная зависимость КСВН нагрузки от частоты.

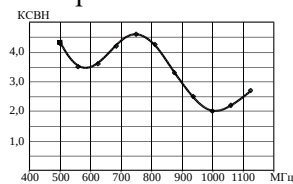


Рис. 2

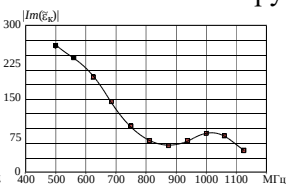


Рис. 3

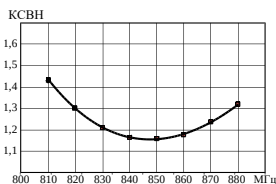


Рис. 4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

CALCULATION OF MICROWAVE STRUCTURES IN THE PRESENCE OF ELEMENTS WITH LARGE LOSSES

Budaragin R. V., Radionov A. A., Salasenko Z. IU.

(“Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev”)

A calculation of a microwave load based on a coaxial waveguide partially filled with absorbing material is proposed.

РАСЧЕТ НАПРАВЛЯЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТКРЫТОГО ПРЯМОУГОЛЬНОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПОТЕРЯМИ

Бударагин Р. В., Саласенко З. Ю., Чарочкина Д. О.

(ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»)

Открытые диэлектрические волноведущие структуры находят широкое применение в технике СВЧ, КВЧ и оптических частот. К настоящему времени для недиссипативных структур достигнуты определенные успехи в описании дисперсионных кривых. При этом работы, в которых учитываются тепловые потери в диэлектрике, достаточно редки. В докладе рассматривается задача о собственных волнах открытого диэлектрического волновода (ОДВ) с потерями. В качестве электродинамической модели ОДВ использовалась полуоткрытая структура, поперечное сечение которой изображено на рис.1.

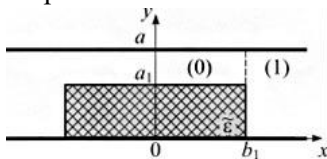


Рис.1

В данных областях поле собственной волны ОДВ представляем как суперпозицию полей собственных LM_n -, LE_n -волн соответствующих волноводов (волноводов сравнения) со своими амплитудными коэффициентами[1]. Записываем условия непрерывности тангенциальных составляющих на границе областей (0) и (1), и используя условие ортогональности собственных волн соответствующих областям волноводов, получаем систему однородных алгебраических уравнений второго рода, относительно неизвестных коэффициентов разложения. Приравнивание к нулю

определителя системы позволяет определить направляющие свойства рассматриваемого волновода, в виде зависимостей комплексной постоянной распространения $\beta = (\beta' + i\beta'')$ от частоты рис.2.

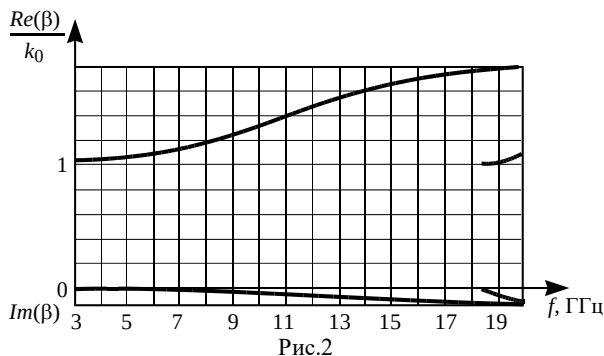


Рис.2

Точность решения определяется количеством N собственных LM_n -, LE_n - волн плоскостойких экранированных волноводов в разложениях полей. В докладе представлены результаты сходимости решения при различных частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров Ю.В. Частично заполненные прямоугольные волноводы. М.: Сов.радио, 1967. 216 с.

THE CALCULATION OF GUIDING CHARACTERISTICS OF AN OPEN RECTANGULAR DIELECTRIC WAVEGUIDE WITH LOSSES

Budaragin R. V., Salasenko Z. IU., Charochkina D. O.

("Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E.
Alekseev")

An electrodynamic model is proposed and a method for calculating an open dielectric waveguide with losses is presented.

УПРАВЛЕНИЕ ТАММОВСКИМИ РЕЗОНАНСАМИ В ОДНОМЕРНЫХ СВЧ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

Скрипаль А. В., Пономарев Д. В., Комаров А. А.,

Шаронов В. Е.

(ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»)

Исследована возможность управления фотонными таммовскими резонансами в запрещенных зонах одномерного СВЧ фотонного кристалла с диэлектрическим заполнением с помощью изменения параметров буферного слоя между фотонным кристаллом и нанометровым металлическим слоем.

В диапазоне частот 7–13 ГГц исследован СВЧ-фотонный кристалл на основе прямоугольного волновода с диэлектрическим заполнением в виде периодически чередующихся слоев двух типов диэлектриков с разными значениями толщины и диэлектрической проницаемости. Фотонный кристалл состоит из 11 слоев. Нечетные слои были изготовлены из керамики Al_2O_3 ($\epsilon = 9,6$), четные – из тефлона ($\epsilon = 2,0$). Длина нечетного и четного сегментов составляла 0,5 мм и 18 мм соответственно.

Результаты расчетов коэффициентов прохождения и отражения при падении электромагнитной волны на фотонный кристалл со стороны, противоположной границе фотонного кристалла с нанометровым металлическим слоем при наличии и отсутствии буферного слоя между фотонным кристаллом и нанометровым металлическим слоем представлены на рис. 1.

Как следует из результатов расчета на АЧХ коэффициента отражения фотонной структуры на краю как первой, так и второй запрещенных зон на частотах f_{Tamm1} и f_{Tamm2} возникают ярко выраженные резонансы, обусловленные существованием фотонного таммовского состояния [1]. Частотное положение и глубина таммовских резонансов определяется параметрами буферного слоя между фотонным кристаллом и нанометровым

металлическим слоем.

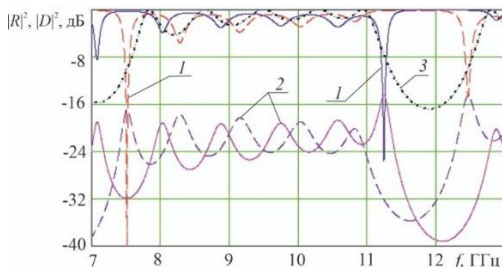


Рис. 1 АЧХ коэффициентов отражения (кривые 1) и прохождения (кривые 2) электромагнитной волны при толщине нанометрового металлического слоя равной 76 нм с удельной электропроводностью $0.5 \cdot 10^6 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$ при наличии (сплошные кривые) и отсутствии (пунктирные кривые) буферного слоя и АЧХ коэффициента прохождения фотонного кристалла без металлического нанослоя (кривая 3)

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (государственное задание № FSRR-2020-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Skripal A. V., Ponomarev D. V. and Komarov A. A. Tamm Resonances in the Structure 1-D Microwave Photonic Crystal/Conducting Nanometer Layer // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2020. Vol. 68. Issue: 12. P. 5115–5122.

CONTROL OF TAMM RESONANCES IN ONE-DIMENSIONAL MICROWAVE PHOTONIC CRYSTALS **Skripal A. V., Ponomarev D. V., Komarov A. A., Sharonov V. E.** **(“Saratov State University”)**

The possibility of controlling the photonic Tamm resonances in the forbidden bands of the one-dimensional microwave photonic crystal with dielectric filling by changing the parameters of the buffer layer between the photonic crystal and the nanometer metal layer has been investigated.

ТАММОВСКИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИ КОНТАКТЕ ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА СО СЛОЕМ ПОЛЯРНОЙ ЖИДКОСТИ

Скрипаль А. В., Пономарев Д. В., Волшаник М. А.
(ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»)

Исследовано возникновение фотонных таммовских состояний при контакте фотонного кристалла [1] со слоем полярной жидкости. В качестве полярной жидкости использована вода, времена установления дипольной поляризации молекул которой составляют $\sim 10^{-11}$ с при комнатной температуре, при этом величина мнимой части диэлектрической проницаемости достигает значений от 25 до 30 единиц в диапазоне частот от 8 ГГц до 12 ГГц.

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена кювета из полимерного диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью равной 2.45 единиц, которая примыкала к последнему слою фотонного кристалла. Кювета полностью заполняла поперечное сечение волновода (23×10 мм²). Кювета полностью заполнялась исследуемой жидкостью (дистиллированная вода). Толщина слоя воды составляла 0.8 мм.

Частотные зависимости коэффициентов отражения R (кривая 1) и прохождения D (кривая 2) фотонного кристалла, контактирующего со слоем дистиллированной воды, и фотонного кристалла при отсутствии кюветы с дистиллированной водой (кривая 3) представленные на рис. 1, исследовались с помощью векторного анализатора цепей Agilent PNA-X Network Analyzer N5242A в диапазоне частот 7 – 13 ГГц.

Как следует из результатов эксперимента при контакте СВЧ фотонного кристалла со слоем дистиллированной воды на краю как первой, так и второй запрещенных зон возникают достаточно выраженные резонансы. Резонанс в первой запрещенной зоне характеризуется низким значением коэффициента отражения

равным -18 дБ.

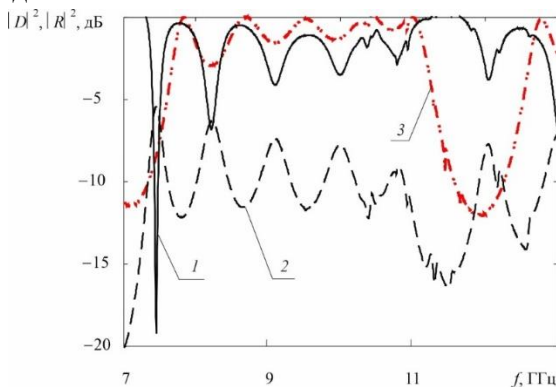


Рис. 1. Экспериментальные частотные зависимости коэффициентов отражения (кривая 1) и прохождения (кривая 2) фотонного кристалла, контактирующего со слоем дистиллированной воды, и фотонного кристалла при отсутствии кюветы с дистиллированной водой (кривая 3)

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (государственное задание № FSRR-2020-0005).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В. Одномерные СВЧ фотонные кристаллы. Новые области применения. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2020. 236 с.

TAMM STATES AT CONTACT OF PHOTONIC CRYSTAL WITH POLAR LIQUID LAYER

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

(“Saratov State University”)

The appearance of photonic Tamm states due to the contact of photonic crystal with the layer of polar liquid has been investigated. Distilled water was used as a polar liquid.

О РАСПРОСТРАНЕНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ СВЯЗАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕ И ВЫТЕКАЮЩИХ ТМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В КРУГЛОМ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ

Смирнов Ю. Г.

(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»)

Рассматривается задача о распространении связанных поверхностных ТЕ-поляризованных и вытекающих ТМ-поляризованных электромагнитных волн в линии Губо (идеально проводящем цилиндре, покрытом концентрическим диэлектрическим слоем), заполненного неоднородной нелинейной средой с нелинейностью, описываемой законом Керра [1]. Нелинейная связанная ТЕ-ТМ волна характеризуется двумя независимыми частотами ω_E и ω_M и двумя постоянными распространения γ_E , γ_M .

Физическая задача сводится к нелинейной двухпараметрической задаче сопряжения на собственные значения для системы нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Найдены два типа решений: нелинейные решения первого типа являются решениями, соответствующими решениям линейных задач (такие решения переходят в линейные, когда коэффициент нелинейности стремится к нулю); решения второго типа являются существенно нелинейными, поскольку они не переходят в линейные решения при уменьшении коэффициента нелинейности.

На Рис. 1 представлены результаты расчетов связанных постоянных распространения и связанных собственных мод: зеленые точки соответствуют волнам первого типа, а желтые точки волнам второго типа. Параметры задачи взяты из [1].

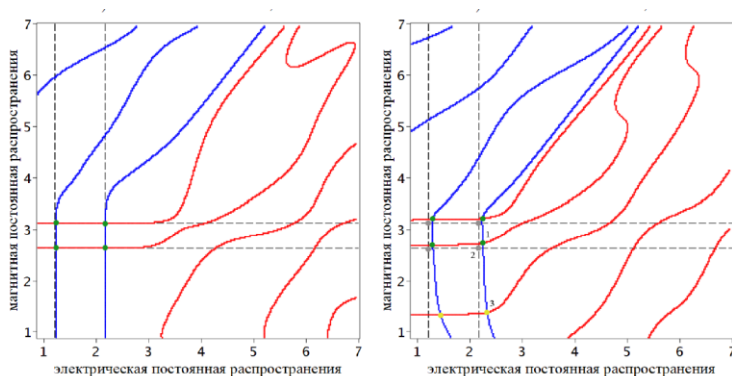


Рис. 1. Коэффициент нелинейности равен 0,01 (слева) и 1 (справа).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Ю.Г., Смолькин Е.Ю., Снегур М.О. Численное исследование распространения нелинейных связанных поверхностных и вытекающих электромагнитных волн в круглом цилиндрическом металлодиэлектрическом волноводе // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2021. 61. №8. С. 1378-1389.

ON THE PROPAGATION OF NONLINEAR COUPLED SURFACE TE AND LEAKY TM ELECTROMAGNETIC WAVES IN A CIRCULAR METAL-DIELECTRIC WAVEGUIDE

Smirnov Y. G.

(*"Penza State University"*)

The problem of propagation of coupled surface (TE) and leaky (TM) polarized electromagnetic waves in a Goubau line (a perfectly conducting cylinder covered with a concentric dielectric layer) filled with an inhomogeneous nonlinear medium is considered.

ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕОТРАЖЕНИЙ

*Бобришов А. М.¹, Нескородов С. Е.^{1,2}, Смушева К. В.¹,
Усков Г. К.¹*

(¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», ²АО «Концерн «Созвездие»)

Проводятся измерения диаграмм направленности антенн в помещении с отражающими стенками. Применение обычных методов [1] измерений приводит к большим ошибкам в таких условиях (рис. 1а). Замена измерительного сигнала на импульсный, возбуждаемый генератором сверхкоротких импульсов, позволяет разделить во временной области сигнал, прошедший напрямую до вспомогательной антенны и сигналы, отразившиеся от стен [2]. Показано, что при применении временного окна можно исключить переотражения и получить безэховое приближение. Полученный результат измерения практически не содержит ошибок (рис. 1б)

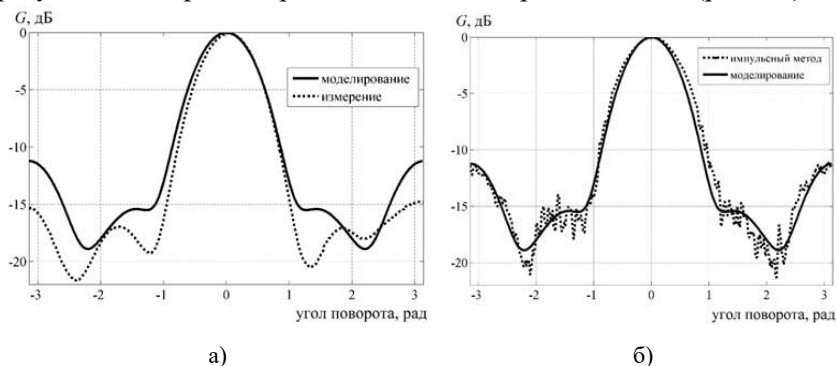


Рис. 1. Результаты измерений в условиях переотражений: а – узкополосными сигналами, б – импульсными сигналами с последующей фильтрацией во временной области

Основными условиями использования предложенной методики являются:

- расположение антенн в дальней зоне;
- расстояние до стен измерительного стенда больше длительности импульсной характеристики канала.

Показаны недостатки метода:

- малое отношение сигнал/шум;
- необходимость каких-либо априорных представлений о длительности импульсной характеристики канала.

Основное преимущество метода заключается в отсутствии необходимости использования безэховых камер.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00323, <https://rscf.ru/project/21-19-00323/>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрадин А. З., Рыжков Е. В. Измерение параметров антенно-фидерных устройств. М.: Радио и связь. 1962. 316 с.
2. Bobreshov A., Uskov G., Neskorođov S., Smuseva K., Anokhin N. Experimental measurement of impulse response UWB emitters // 2020 7th All-Russian Microwave Conference (RMC), 2020. P. 266-268.

MEASURING TRANSMITTER CHARACTERISTICS IN MULTI-REFLECTION CONDITIONS

***Bobreshov A. M.¹, Neskorođov S. E.^{1,2}, Smuseva K. V.¹,
Uskov G. K.¹***

(¹“Voronezh State University”, ²“JSC “Concern” Sozvezdie””)

The paper shows the results of the experimental measurement of the directional pattern of the horn antenna using ultrashort pulses. The given technique, using time filtering, allowed us to obtain correct results in conditions of over-reflections from the boundaries of the measurement area, when the methods of measurement with narrowband signals give significant distortions and cannot be applied.

УДК 621.396.674.37(1)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Солдатов А. А.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В данной работе при помощи среды Microwave Studio было выполнено моделирование антенны (рис.1) как кольца электрического тока, а также был выполнен расчет характеристики направленности в дальней зоне.

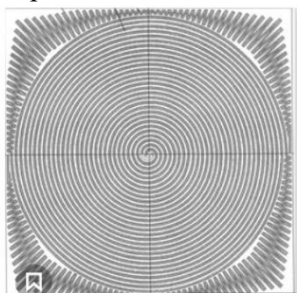


Рис. 1. Конструкция спиральной антенны

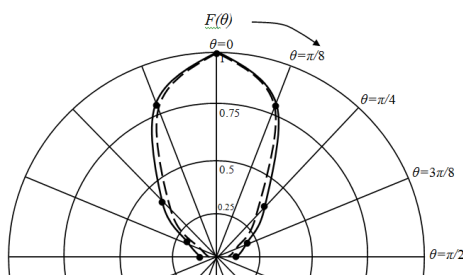


Рис.2 Диаграмма направленности антенны в дальней зоне

Для расчета диаграммы направленности исследуемой антенны, необходимо рассмотреть математическую модель кольца электрического тока при $a = \lambda / 2\pi$:

$$A = \frac{1}{4\pi} \int j(\rho, \phi, z) \frac{e^{-ikr}}{r} d\rho d\phi dz. \quad (1)$$

Согласно (1) можно получить соотношение, позволяющее рассчитать амплитудную диаграмму направленности в дальней зоне, при помощи следующего соотношения:

$$F(\theta) = \sqrt{\frac{[J_0(\sin \theta) - J_2(\sin \theta)]^2 \cos^2 \theta + [J_0(\sin \theta) - J_2(\sin \theta)]^2}{2}}. \quad (2)$$

В результате применения (2) была получена диаграмма направленности, согласно которой можно отметить, что теоретическая и экспериментальная кривые (рис.2) практически идет идентичный характер.

Кроме этого, в процессе использования среды моделирования, была получена модель кольцам электрического тока (рис. 3). В свою очередь на рис. 4 можно увидеть полученное поле излучения, согласно которому следует отметить, что данное полу имеет идентичный характер экспериментальной кривой (рис. 3).

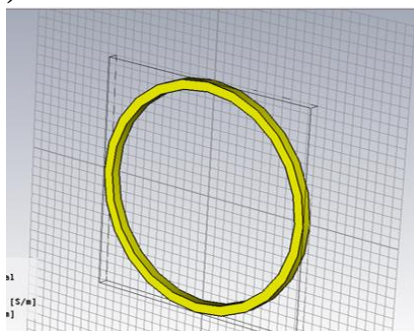


Рис.3. Кольцо электрического тока

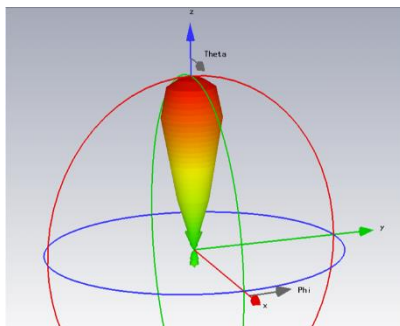


Рис. 4. Смоделированное поле излучения

DESIGN A FLAT SPIRAL ANTENNA

Soldatov A. A.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The work is devoted to the study of a flat helical antenna. The calculation and design of such an antenna in the Microwave Studio environment was carried out. The adequacy of the formulas obtained is proved.

ВОЛНОВОДНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Солдатов А. А., Еремин А. А., Титоренко Ю. В.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

На рис. 1 представлена схема измерения диэлектрической проницаемости, при помощи которой первым делом фиксируется стоячая волна без образца, затем в волновод помещается образец и снова фиксируется сдвиг максимума стоячей волны. При этом, следует отметить, что диэлектрическая проницаемость (1) и тангенс диэлектрических потерь (2), можно определить следующим образом:

$$\tilde{\varepsilon}_r = \frac{\frac{1}{\lambda_{kp}^2} - \left(\frac{\gamma_2}{2\pi}\right)^2}{\frac{1}{\lambda_{kp}^2} + \frac{1}{A^2}} = \varepsilon' - j\varepsilon'', \quad (1)$$

$$\varepsilon' = \frac{1 - (\alpha_2^2 - \beta_2^2) \left(\frac{\lambda_{kp}}{2\pi}\right)^2}{1 + \left(\frac{\lambda_{kp}}{A}\right)^2}; \varepsilon'' = \frac{2\alpha_2\beta_2 \left(\frac{\lambda_{kp}}{2\pi}\right)^2}{1 + \left(\frac{\lambda_{kp}}{A}\right)^2}, \quad (2)$$

$$\varepsilon_r = \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}, \operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}.$$

Далее было выполнено моделирование волноводного метода (рис. 2) в Microwave Office.

Согласно полученным результатам стоит отметить, что ε' и $\operatorname{tg} \delta$ и при моделировании и расчете отличается на 15-17% (рис.3, рис.4).

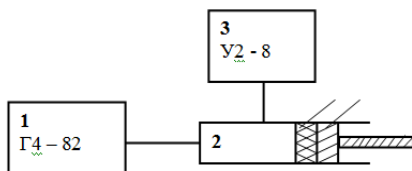


Рис. 1. Схема измерения диэлектрической проницаемости

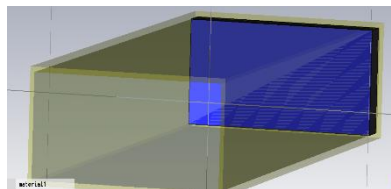


Рис. 2. Смоделированный волновод с образцом

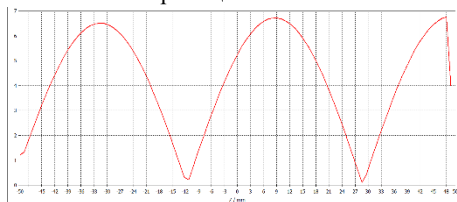


Рис. 3. Смоделированная стоячая волна без образца

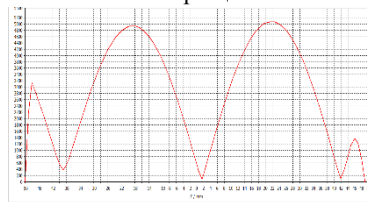


Рис. 4. Смоделированная стоячая волна с образцом

DESIGNING A WAVEGUIDE METHOD FOR MEASURING DIELECTRIC CONSTANT IN A MICROWAVE STUDIO ENVIRONMENT

Soldatov A. A., Eremin A. A., Titorenko Yu. V.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The paper considers a waveguide method for measuring the dielectric constant of small samples in laboratory conditions. Formulas for calculating the complex dielectric constant are obtained and the method is modeled in the Microwave Studio environment. Modeling confirms the adequacy of the formulas obtained.

УДК 621.396.674.37(1)

ДВУХМОДОВАЯ АНТЕННА НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОГО НАМАГНИЧЕННОГО ФЕРРИТОВОГО РЕЗОНАТОРА ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Солдатов А. А., Филимонова Л. Н.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В [1] отмечено, что в настоящее время на основе подмагниченных ферритов существует большое количество устройств СВЧ и КВЧ диапазонов. Таким образом, на рис.1 представлена двухмодовая антенна на основе подмагниченного цилиндра.

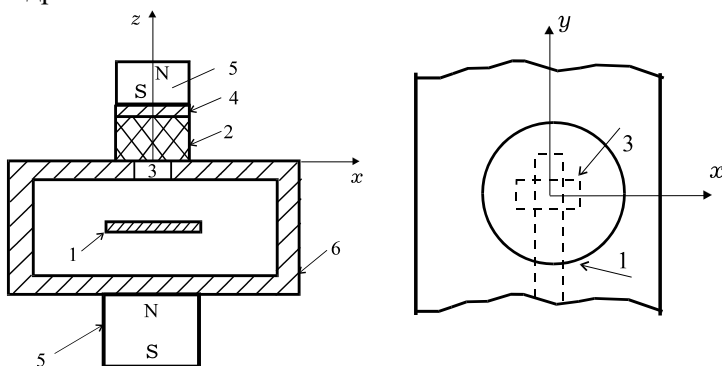


Рис.1. Двухмодовая антенна

Согласно представленному рис.1 следует отметить, что на боковой поверхности исследуемого цилиндра, как правило, возникает электрическое вращающееся по азимуту поле, возбуждающее в свободном пространстве электромагнитное поле с вращающейся поляризацией. Однако, в [1] отмечено, что при анализе подобных антенн, как правило, могут возникать вычислительные трудности. Несмотря на трудности вычисления,

подобные антенны можно использовать в качестве многомодовой с вращающимися поляризациями.

Предложенная в данной работе антенна имеет большие перспективы в различных областях науки: биофизика, биология, химия и пр. При этом, следует отметить, что на основе ЭМП с вращательной поляризацией возможно целенаправленное селективное разрушение молекулярных структур вещества за счет передачи энергии ротационным колебаниям межатомным связям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В. А., Яровой Г. В. Теория и применение устройств СВЧ. М.: Радиотехника и связь, 2006. 720 с.

TWO-MODE ANTENNA BASED ON OPEN MAGNETIZED CYLINDRICAL FERRITE RESONATOR

Soldatov A. A., Filimonova L. N.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

The paper considers a two-mode antenna based on a magnetized ferrite cylinder. Such an antenna can be used as a two-mode radiator at frequencies f_1 and f_2 , and the difference $\Delta f = f_1 - f_2$, $f_1 - f_2$ in the microwave and EHF ranges can reach 10 GHz. The ellipticity coefficient of the proposed emitter is close to unity. The proposed antenna has great prospects in various fields of science: biophysics, biology, biochemistry, etc. On the basis of an electromagnetic field with rotational polarization, a targeted selective destruction of the molecular structures of a substance is possible due to the transfer of energy to rotational vibrations of interatomic bonds.

РЕШЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ДИРЕКТОРНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Табаков Д. П.¹, Аль-Нозайли Б. М. А.²

(¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», ²ФГАОУ ВО ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»)

На основе интегральных представлений электромагнитного поля, в тонкопроволочном приближении [1], получена математическая модель директорной антенны. Модель описывает совокупность пяти вибраторов круглого сечения, одинакового радиуса, разной длины (L_i , $i = 1 \dots 5$) и расстояния между ними как показано на (Рис. 1). Активным излучателем является второй вибратор. Первый вибратор является рефлектором, а вибраторы расположенные справа от активного излучателя являются направляющими директорами.

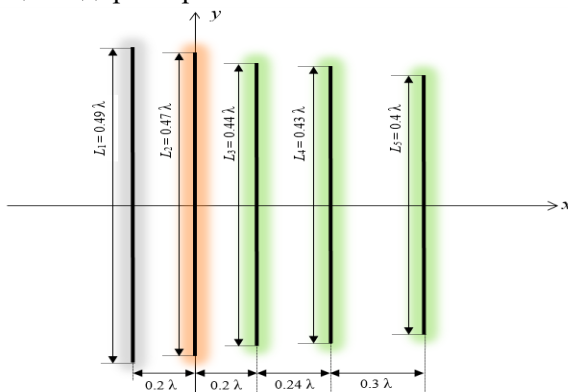


Рис. 1. Геометрия рассчитываемой директорной антенны

В рамках метода моментов, СЛАУ решается методом Гаусса – Зейделя. При этом производится сравнение трех различных подходов к решению: решение методом коллокации, проекционный метод с предобуславливанием и без предобуславливания. Иллюстрация сходимости решений, при различных отношениях ($L_e = L_2/\lambda$), приведена на (рис. 2).

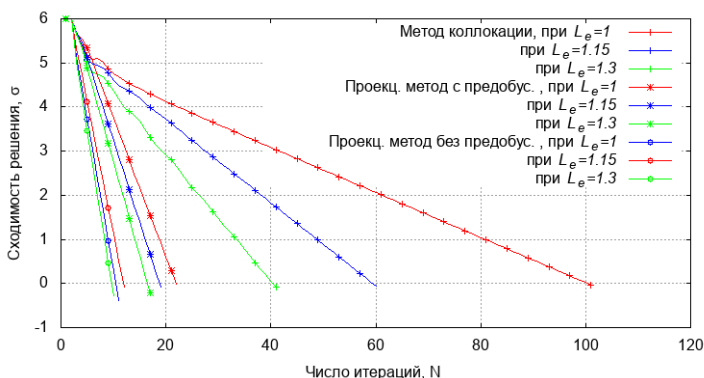


Рис. 2. Иллюстрация сходимости итерационного процесса

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн. М.: Радиотехника, 2009. 720 с.

NUMERICAL SOLUTION OF THE INTERNAL ELECTRODYNAMIC PROBLEM FOR DIRECTIONAL ANTENNA

Tabakov D. P.¹, Al-nozaili B. M. A.²

(¹“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”, ²“Samara National Research University”)

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

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ПЛОСКИЙ СПИРАЛЬНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ЗАМЕДЛЕНИЕМ

Табакон Д. П.¹, Малахов М. А.²

*(¹ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики», ²АО «Научно-
исследовательский институт «Экран»)*

Предложена модель модифицированного плоского спирального излучателя с дополнительным замедлением (МПС, рисунок 1), построенная на основе модели [1]. Дополнительное замедление обеспечивается совокупностью вертикальных штырей L_{ni} . Построенная на основе тонкопроволочного интегрального представления поля модель позволяет менять число витков спирали, ее минимальный и максимальный радиус, коэффициент деформации, а также число и длину вертикальных штырей.

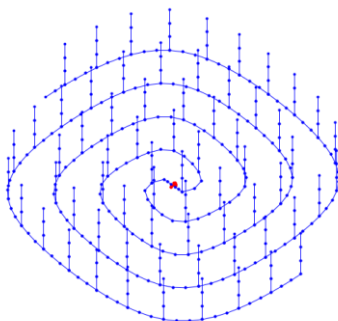


Рис.1. Геометрия модифицированного спирального излучателя

Результаты численного моделирования показали слабую зависимость формы диаграммы направленности от наличия замедляющих штырей, при этом они оказывают значительное влияние на распределения тока и на равномерность входного

сопротивления в рассматриваемом диапазоне. Предложенная модификация может быть использована при миниатюризации антенн подобного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Малахов М.А., Математическая модель модифицированного плоского спирального излучателя [Текст]/ М.А. Малахов, Д.П. Табаков // XXII Международная научно-техническая конференция «Проблемы технологий и техники телекоммуникаций» ПТиТТ – 2020, Самара. 2020. С. 357 – 358.
2. Неганов В.А., Нефедов Е.И., Яровой Г.П. Электродинамические методы проектирования устройств СВЧ и антенн. – М.: Радио и связь, 2002. – 416 с.

MODIFIED FLAT SPIRAL TRANSMITTER WITH ADDITIONAL DECELERATION

Tabakov D. P.¹, Malahov M. A.²

(¹“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”, ²Scientific Researsc Institute «Ekran»)

A modified flat spiral radiator with additional retardation is proposed. Additional current deceleration is provided by vertical pins. A complete electrodynamic analysis of the structure has been carried out.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПЛОСКОЙ МНОГОЗАХОДНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Табакков Д. П., Кураков В. А.

(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»)

Строгая математическая модель плоской многопроволочной спиральной антенны, размещенной на бесконечно протяженном идеально проводящем экране, была построена с использованием тонкопроволочных интегральных представлений поля (ИПП) [1,2,3]. Геометрия антенны приведена на рис.1.

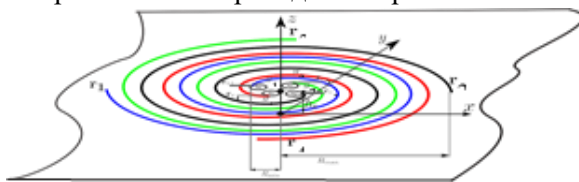


Рис. 1. Геометрия рассчитываемой многозаходной спиральной антенны

Посредством постановки граничного условия для идеального металла из ИП ЭМП получена система интегральных уравнений (ИУ) Фредгольма первого рода, записанная относительно распределений тока в ветвях спиралей. Учет экрана осуществлялся методом зеркальных отображений. Решение системы осуществлялось методом коллокаций.

На рис.2-3 приведены результаты численного расчета сложных распределений суммарного тока в спирали в случаях противофазного возбуждения ветвей. Из рисунков видно, что при малых отношениях $R_{\max} / \lambda$ в ветвях спирали возникает режим стоячей волны тока.

При высоких величинах отношений коэффициентов $R_{\max} / \lambda$ в спирали преобладает режим бегущей волны тока, сохраняющийся

в широком диапазоне частот, что позволяет говорить о широкополосности рассматриваемого излучателя.

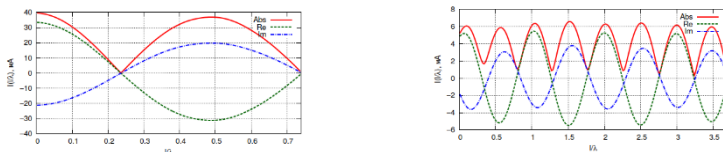


Рис. 2: Комплексное распределение тока в ветви: а - $R_{\max} / \lambda = 0.1$,
б - $R_{\max} / \lambda = 0.4$

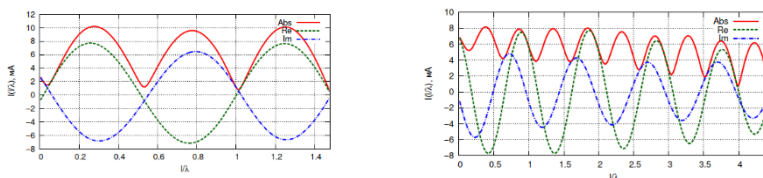


Рис. 3: Комплексное распределение тока в ветви: а) - $R_{\max} / \lambda = 0.2$,
б) - $R_{\max} / \lambda = 0.5$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капитонов В.А., Неганов В.А., Марсаков И.Ю., Табаков Д.П. Интегральное представление электромагнитного поля геометрически киральной структуры // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. №4. С. 6-13.

NUMERICAL SOLUTION OF THE INTERNAL ELECTRODYNAMIC PROBLEM FOR FLAT DUALBRANCH SPIRAL ANTENNA

Tabakov D. P., Kurakov V. A.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

A rigorous mathematical model of a flat multi-wire helical antenna has been built.

ПОЛУОТКРЫТЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ БРЭГГОВСКИЕ СВЧ СТРУКТУРЫ

Фархутдинов Р. В., Насыбуллин А. Р., Шакиров Р. Ф.
*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

Брэгговские СВЧ структуры в коаксиальной линии нашли применение в качестве СВЧ датчиков для измерения диэлектрических параметров жидкостей [1]. В докладе рассматривается модификации конструкции брэгговской структуры, заключающаяся в замене сплошного внешнего проводника полуоткрытым.

Датчик в виде брэгговской СВЧ структуры предполагает косвенное определение параметров материалов по измеренному первичному информационному сигналу, в качестве которого могут выступать модуль или фаза коэффициента отражения или передачи структуры. Обеспечение необходимой чувствительности преобразования предполагает заполнение внутреннего пространства линии исследуемой жидкостью. Оперативный контроль должен предусматривать погружение датчика в исследуемую среду с беспрепятственным заполнением измерительного пространства нужным объемом жидкости. Для этого во внешнем проводнике линии должны быть соответствующие отверстия или прорези. Задача усложняется тем, что они влияют на электрические характеристики датчика, поэтому в докладе предлагается использование полуоткрытого внешнего проводника, обеспечивающего распространению ТЕМ-волны в коаксиальной линии [1]. На рисунке 1 показаны поперечные сечения пяти полуоткрытых коаксиальных линий.

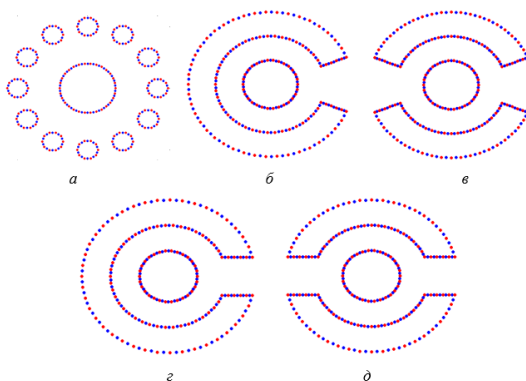


Рис. 1. Поперечные сечения полуоткрытых коаксиальных линий: а – с внешним проводником в виде стержней, б – с одним продольным радиальным разрезом, в – с двумя продольными радиальными разрезами, г - с одним продольным прямоугольным разрезом, д – с двумя продольными прямоугольными разрезами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насыбуллин А.Р., Морозов О.Г., Фархутдинов Р.В., Ишкаев Т.М. Сверхвысококачественные брэгговские структуры в полуоткрытой коаксиальной линии // Вопросы радиоэлектроники. 2021. № 1(1). С.4-12.

SEMI-OPEN COAXIAL BRAGG MICROWAVE STRUCTURES

Farkhutdinov R. V., Nasibullin A. R., Shakirov R. F.

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

Bragg microwave structures in a coaxial line have found application as microwave sensors for measuring the dielectric parameters of liquids. The report discusses the modification of the Bragg structure design, which consists in replacing the solid outer conductor with a half-open one.

СВЧ-ДАТЧИК НА ОСНОВЕ ДВУХЧАСТОТНОГО ПЛАНАРНОГО РЕЗОНАТОРА

Чернышева А. Ю., Насыбуллин А. Р.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

В докладе рассматривается разработка микроволнового датчика на основе двухчастотного планарного резонатора, предназначенного для экспресс-контроля уровня деградации оливкового масла. Представлена модель СВЧ датчика и его резонансные характеристики.

Оливковое масло содержит полиненасыщенные жиры, которые обеспечивают поддержание оптимального уровня холестерина в крови и снабжают клетки питательными веществами. Поэтому появляется необходимость следить и контролировать его качество, состав и срок годности. Для увеличения измерительной информации могут быть применены двухчастотные и многочастотные резонансные датчики [1]. В двухчастотном резонаторе на основе двух прямоугольных колец на МПЛ можно получить независимые резонансные частоты, которые можно анализировать по отдельности.

Датчик состоит из микроволнового резонатора, который в свою очередь представляет диэлектрическую подложку и два микрополосковых прямоугольных кольца с различными геометрическими размерами.

На рисунке 1а представлен микроволновый датчик с П-образным кольцом МПЛ, на рисунке 1б в свою очередь показана чувствительность датчика, а именно представлены резонансные характеристики с двумя разными диэлектрическими проницаемостями ($\epsilon=3$ и $\epsilon=3,1$). Сдвиг по частоте первого кольца МПЛ $\Delta f=0.0203$ ГГц, сдвиг по частоте второго кольца резонатора $\Delta f=0.0473$ ГГц.

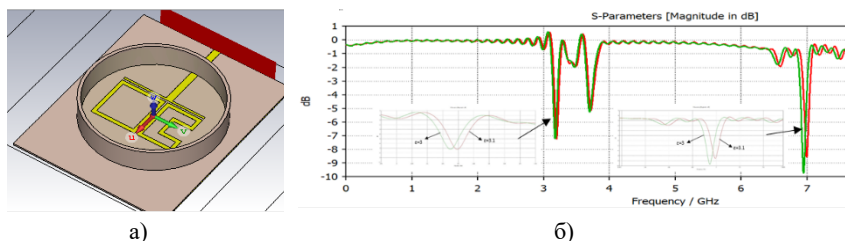


Рис. 1. Микроволновый датчик для экспресс-контроля уровня деградации оливкового масла: а) модель датчика, б) коэффициент отражения при различной диэлектрической проницаемости объекта измерения

Микроволновый датчик на основе МПЛ с П-образным кольцом имеет наибольшую чувствительность по сравнению с двумя прямоугольными кольцами различного размера, а также два резонанса, что показывает выполнение условия поставленной задачи, а именно разработать двухчастотный резонансный датчик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ivanov A., Agliullin T., Laneve D., Portosi V., Vorobev A., Nigmatullin R.R., Nasybullin A., Morozov O., Prudenzano F., D'Orazio A., Grande M. Design and Characterization of a Microwave Planar Sensor for Dielectric Assessment of Vegetable Oils // Electronics. 2019. №8(9). P. 1030.

A MICROWAVE SENSOR BASED ON A TWO-FREQUENCY PLANAR RESONATOR

Chernysheva A. Y., Nasybullin A. R.

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

The report discusses the development of a microwave sensor based on a two-frequency planar resonator designed for rapid monitoring of the level of degradation of olive oil. A model of a microwave sensor and its resonant characteristics are presented.

УДК 537.226.1

ПОЛОСКОВЫЙ СВЧ ДАТЧИК ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ КОМПОЗИТА

Шакиров Р. Ф., Насыбуллин А. Р.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

Контроль отверждения композитного материала является важной задачей в процессе изготовления изделий из них. В докладе предлагается реализация контроля на основе полоскового СВЧ датчика, реагирующего на изменение диэлектрической проницаемости, зависящей от степени полимеризации. Требованиями к конструкции датчика является планарность, малые габариты, локальность измерения. Датчик представляет собой двухслойную полосковую линию, в которой нижний слой – это микрополосковая линия с периодически повторяющимися неоднородностями в виде ступенчатого изменения ширины полоска. В центре датчика происходит переход полоска с нижнего слоя на верхний – копланарную линию, представляющую собой резонатор. Датчик прикладывается к композиту стороной с резонатором. Форма датчика показана на рисунке 1.

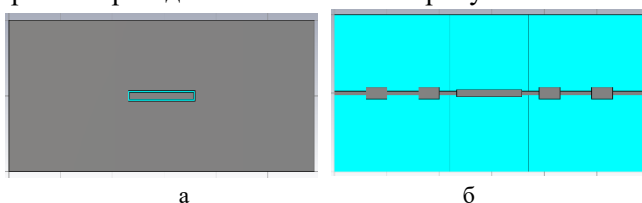


Рис. 1. Внешний вид датчика: а) верхний слой б) нижний слой

Для уменьшения габаритов датчика диэлектрическая проницаемость в области расположения периодической структуры была равна 10, а в области расположения резонатора – 2 с целью увеличения чувствительности датчика.

Было проведено компьютерное моделирование представленного датчика при различных значениях диэлектрической проницаемости контролируемого материала: от 1 до 5. При указанных значениях фиксировалась резонансная частота в характеристике коэффициента отражения S_{11} (рис.2).

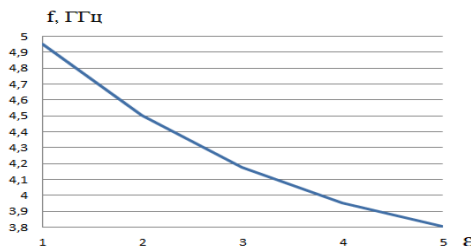


Рис. 2. График зависимости резонансной частоты от диэлектрической проницаемости исследуемого материала

В результате компьютерного моделирования показано, что датчик обладает чувствительностью 500 МГц/ед. ϵ . За счет того, что периодическая структура экранирована от поверхности контролируемого материала возможна реализация локального измерения.

STRIP MICROWAVE SENSOR FOR MEASURING MATERIAL PROPERTIES DURING POLYMERIZATION

Shakirov R. F, Nasybullin A. R.

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

Controlling the curing of composite materials is an important task in the process of manufacturing products from them. The report proposes the implementation of control based on a strip microwave sensor that responds to a change in dielectric constant, depending on the degree of polymerization. The requirements for the sensor design are planarity, small dimensions, and locality of measurement.

УДК 621.396.96

ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ. РАЗВИТИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

Шаронов Д. Е.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

На сегодняшний день в передающей и приемной технике все большее значение приобретают частотно-селективные поверхности. Данные структуры можно использовать, например, в качестве экранов, для решения задач электромагнитной совместимости.

На сегодняшний день известны следующие типы экранирующих материалов:

Сетки. Изготовлены из токопроводящих материалов, применяются для защиты от электромагнитных волн. Экраны из тканной сетки не препятствуют поступлению света в помещение. К недостаткам можно отнести низкий показатель стойкости к механическим воздействиям. Бывают двух типов: редкая и мелкая.

Пластины. Представляют собой листы металла толщиной до 3 мм. К недостаткам можно отнести высокую стоимость изготовления, подверженность коррозии.

Краски и грунтовки. В состав входит тонкопроводной углерод или частицы металла. К преимуществам можно отнести универсальность, стойкость к химическим и механическим воздействиям.

Фольгированные материалы. Они предназначены для наклеивания на экранируемую поверхность. Также выпускается фольга на подложке из непроводящих материалов, таких как плотная бумага, пластмасса, ткань и т.д.

Метаматериалы. Это композиционные материалы, получены искусственной модификацией внедряемых в них элементов. Благодаря модификациям изменяется магнитная и диэлектрическая проницаемость материала.

Экраны могут быть с внутренним возбуждением электромагнитного поля. Устанавливаются у источника помех. А так же экраны внешнего электромагнитного поля, во внутренней полости которых помещаются чувствительные устройства, для защиты от воздействия внешних помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е. Анализ характеристик управляемой частотно-селективной поверхности в СВЧ диапазоне Инженерный вестник Дона. 2017. №2(45). С.25.
2. Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М. Математическое моделирование управляемых частотно-селективных поверхностей // Инженерный вестник Дона. 2018. №2(49). С.51.

FREQUENCY SELECTIVE SURFACES. DEVELOPMENT AND APPLICATION

Sharonov D. E.

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

The article considers the relevance of the study of new coatings, with the ability to control their characteristics. A review of existing methods for creating frequency-selective surfaces is given, electrodynamic models of controlled frequency-selective surfaces and their design are considered.

СЕКЦИЯ 5. ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ПРИНЦИП УСТРОЙСТВА ФОТОННОЙ ДВУХМЕРНОЙ РЕШЕТКИ L-ОБРАЗНЫХ АНТЕНН

Андреев В. Д., Морозов О. Г., Казаров В. Ю.

*(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)*

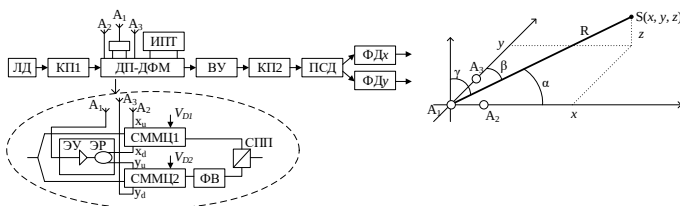


Рис. 1 Принципиальная схема L-образных антенн

Принципиальная схема двухмерной системы оценки угла прихода (УП), предложенная в [1] показана на рис. 1. Она состоит из двоичного фазового модулятора с двойной поляризацией (ДП-ДФМ) и L-сУП. Излучение с лазерного диода (ЛД) с амплитудой E_c и угловой частотой ω_c выражается как $E_c(t) = E_c e^{j\omega_c t}$. После контроллера поляризации (КП1) это излучение вводится в модулятор, состоящий из двух сдвоенных модуляторов Маха-Цендера (СММЦ). В одном из плеч установлен фазовращатель на 90° (ФВ), что делает этот модулятор мультиплексированным по поляризации. Затем поляризационно-мультиплексированные сигналы от двух плеч рекомбинируют с помощью сумматора поляризационных пучков (СПП). Антенны подключаются к четырем микроволновым портам модулятора (x_u , x_d , y_u и y_d). Решетка состоит из трех антенн и имеет форму буквы «L». Антенна-1 (A1) установлена в исходной точке системы координат. Антенна-2 (A2) и антенна-3 (A3) расположены в $(d, 0, 0)$ и $(0, d, 0)$, где d - это расстояние между каждыми двумя антеннами и составляет $d = \lambda/2$ (λ

- длина волны входящего сигнала), для улучшения диаграммы направленности. А2 и А3 принимают РЧ-сигналы и передают их в микроволновые порты u_d и x_u соответственно. А1 также принимает РЧ сигнал, который усиливается электрическим усилителем (ЭУ), а затем делится электрическим разветвителем (ЭР). При этом мощность двух сигналов от ЭР равна мощности сигналов от А2 и А3. Затем сигналы отправляются в микроволновые порты x_d и u_u . Следует подчеркнуть, что пути прохождения сигналов от трех субантенн до модулятора должны быть одинаковы. Напряжения смещения постоянного тока (V_{D1} , V_{D2}) установлены на квадратурную точку передачи (QTP), чтобы модулятор выполнял двухполосную модуляцию. Затем оптический сигнал через поляризационный сумматор (ПСС) усиливается волоконным усилителем (ВУ), легированным эрбием, с коэффициентом усиления G_{OA} . Полученные сигналы, после обработки, могут быть использованы для оценки третьего УП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tao Lin, Zhike Zhang, Yuehui Wang, Zihang Zhu, Shanghong Zhao, Jianguo Liu, Wei Jiang, and Guozhang Wu. Photonic 2-D angle-of-arrival estimation based on an L-shaped antenna array for an early radar warning receiver // Opt. Express 28. 2020. P. 38960-38972 (2020)

PRINCIPLE OF A TWO-DIMENSIONAL PHOTONIC ARRAY OF L-SHAPED ANTENNAS

Andreev V. D., Morozov O. G., Kazarov V. Y.

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

A method for estimating the angle of arrival using a photonic 2-dimensional array of L-shaped antennas to obtain an accurate three-dimensional signal position is considered in this article.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И НЕЙРОСЕТЕЙ В МАРКЕТИНГЕ

Шабанов Д. Д., Гайдук А. Е.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

С развитием маркетинга, появляются различные способы оптимизировать рабочий процесс и получить наибольшую прибыль, и одним из таких способов является внедрение нейросетей для решения задач.

Создание нейронных сетей на сегодняшний день прибыльное направление в компьютерной индустрии. Искусственный интеллект сегодня уже способен заменить человека во многих профессиях, одна из которых оптимизация рабочего процесса. Нейросеть способна обработать и решить задачу быстрее человека, так же она достаточно гибкая в сфере применения – за счет обучаемости искусственному интеллекту можно поручить выполнение почти любых заданий.

Рассмотрим уже готовые нейронные сети, которые можно применить в маркетинге. Существует нейросеть, которая обрабатывает и создает совершенно новые изображения, она называется Deepart.io. Данная сеть способна перерисовать картинку в совершенно любом стиле под разные задачи. Одна из которых применима в рекламе.

Так же существует нейросеть оценки запоминаемости изображений, что отлично работает вместе с Deepart.io, она называется LaMem. Данная сеть определяет, процент заинтересованности и узнаваемости изображений, что очень важно в создании рекламы. Благодаря этим алгоритмам мы можем создавать рекламные баннеры и постеры, не прибегая к сторонним организациям.

В любой организации по оказанию услуг должен быть центр поддержки. Данный процесс легко оптимизируется, исключая человеческое присутствие. К примеру, сервисом WaveNet. Данная сеть генерирует речь как настоящий человек она, как и мы выражает эмоции, паузы, запинки в своей речи, что можно использовать в чатах или звонках поддержки.

С применением данных алгоритмов появляется возможность, минимизируя человеческий фактор, организовать собственную фокус-группу, лейбл, рекламу организации и центр поддержки, все это будет сделано без вмешательства людей, что существенно снизит затраты организации и ускорит рабочий процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нейро сеть LaMem // LaMem. URL: <http://memorability.csail.mit.edu/demo.html>, свободный. (дата обращения: 15.09.2021).
2. Нейро сеть Deepart.io // сеть Deepart.io URL: <https://deepart.io/>, свободный. (дата обращения: 15.09.2021).
3. Нейро сеть WaveNet // WaveNet. URL: <https://habr.com/ru/company/Voximplant/blog/309648/>, свободный. (дата обращения: 15.09.2021).

THE POSSIBILITIES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND NEURAL NETWORKS IN MARKETING

Shabanov D. D., Gaiduk A. E.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

This article examines the possibility of using artificial intelligence in marketing.

РАДИОФОТОННЫЙ МОДУЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПРИХОДА РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Денисенко Е. П.

(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)

Оптические схемы определения угла прихода (УП) радиолокационного сигнала (РС), как правило, основаны на измерительном преобразовании фазы в мощность, что является простым и мгновенным решением. Известны схемы, где, в первой два принятых антенной решеткой РС подаются на два порта модулятора Маха-Цендера (ММЦ) с квадратурным смещением, а во второй, на два последовательных ММЦ. Разность фаз может быть получена при измерении выходной мощности РС на выходе фотодетектора (ФД), установленного после ММЦ. Недостатком подходов, основанных на мониторинге мощности РС, является необходимость использования дорогостоящих широкополосных ФД.

В ряде работ предложены схемы, в которых используется схема измерения УП по постоянному току. Однако для получения такой возможности применяется подавление несущей частоты с помощью сложной схемы стимулированного бриллюэновского рассеяния или ВБР. Нами предлагается более простая схема [1].

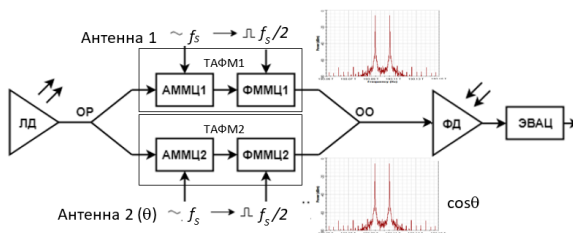


Рис. 1. Структурная схема

Суммарное электрическое поле на выходе ТАФМ1,2 (ОО):

$$E_{\text{out},2} = \frac{\alpha_i E_{\text{in}}}{2\sqrt{2}} e^{j2\pi f_{ct}t} \left[J_1(m, \phi) e^{j\pi f_{st}t} (1 - e^{j0}) - J_1(m, \phi) e^{-j\pi f_{st}t} (1 - e^{-j0}) \right], \quad (1)$$

где E_{in} – амплитуда электрического поля лазерного излучения ЛД, α_i – потери, вносимые ТАФМ, $J_1(m, \phi)$ – функция Бесселя, m и ϕ – параметры амплитудного и фазового преобразования в ТАФМ. Выходной сигнал с ТАФМ1,2 поступает на ФД. Мощность на постоянном токе, то есть информационная пиковая мощность для получения информации об УП, может быть получена как:

$$P_{fs} = \Re^2 \frac{\alpha_i^4 P_{\text{in}}^2}{16} J_1^4(m, \phi) R_L (1 - \cos \theta), \quad (2)$$

где R_L – сопротивление нагрузки ФД, а $\Re$ – его коэффициент преобразования. Результат статистических оценок по массиву измерений показывает, что погрешность измерения УП в диапазоне от 0 до $\pi/2$ составляет угол меньше $\pm 1,7$ мрад.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов О.Г., Морозов Г.А., Ильин Г.И. и др. Радиофотонный метод определения угла прихода отраженного радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2021. № 1 (49). С. 50-62.

MICROWAVE PHOTONIC MODULE FOR THE RADAR SIGNAL ANGLE OF ARRIVAL DETERMINING

Denisenko E. P.

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

A microwave photonic module is proposed, in which the AOA measurement circuit is used. Unlike the known ones, the module does not use special filters on fiber Bragg gratings or stimulated Brillouin scattering.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ПРИХОДА НА РАДИОФОТОННОЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПРИЕМНОЙ СИСТЕМЕ ИОНОЗОНДА

Денисенко Е. П., Денисенко П. Е., Андреев В. Д.,
Тетерин А. А.

(ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»)

В докладе рассмотрены методы определения угла прихода (УП) отраженных от ионосферы плоских волн с помощью интерферометрических измерений фазы на дипольных элементах приемной плоской антенной решетки ионозонда в средне- и высокочастотном диапазонах (0,5-30 МГц). Приемник ионозонда, использующего зондирующие радиочастотные импульсы на уровне единиц мВт, структурно (рис. 1А) состоит из восьми параллельных каналов, подключенных к широкополосным активным дипольным антеннам. Компоновка решетки приемных диполей восьми антенн обозначены, как «-1х; 0х; 1х; 2х» для горизонтального ряда и «-1у; 0у; 1у; 2у» для вертикального, а центр скрещенного диполя «0х,0у» является точкой отсчета для анализа фазовых параметров.

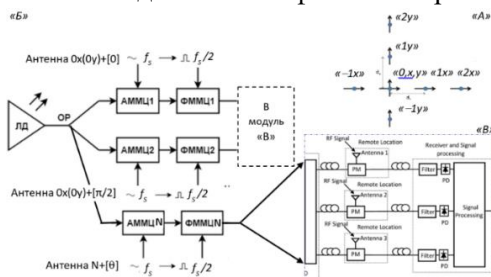


Рис. 1. Структурная схема приемника ионозонда с радиофотонным блоком обработки сигналов

Выходной оптический сигнал с блоков тандемной амплитудно-фазовой модуляции (ТАФМ) (рис. 1Б) [1], зависящий

от амплитуды отраженного сигнала A_s , поступает на фотодетекторы (рис. 1В), которые генерируют фототок, амплитуда которого на частоте f_s может быть получена из уравнений:

$$\begin{aligned} I_{fs1} &= \Re \frac{\alpha_i^2 P_{in}}{4} J_1^2(m, \phi) \sqrt{2(1 - \cos(\theta))}, \\ I_{fs2} &= \Re \frac{\alpha_i^2 P_{in}}{4} J_1^2(m, \phi) \sqrt{2(1 - \sin(\theta))}. \end{aligned} \quad (1)$$

Электрическая мощность на частоте f_s , то есть информационная пиковая мощность для получения информации об УП, полученная из уравнений (1), может быть использована для определения отношения измерительного и компенсационного канала $K = (1 - \cos(\theta)) / (1 - \sin(\theta))$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов О.Г., Морозов Г.А., Ильин Г.И. и др. Радиотехнический метод определения угла прихода отраженного радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2021. № 1 (49). С. 50-62.

DETERMINATION OF THE ANGLE OF ARRIVAL ON THE MICROWAVE PHOTONIC MULTICHANNEL RECEIVING SYSTEM OF THE IONOSONDE

Denisenko E. P., Denisenko P. E., Andreev V. D., Teterin A. A.
 (“Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev - KAI”)

Methods for determining the angle of arrival at certain frequencies using interferometric phase measurements on the elements of the receiving flat antenna array of the ionosonde are considered.

ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ В СФЕРЕ УСЛУГ

Иваев М. И., Казакова К. С.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

В современных реалиях, когда вероятность экономических кризисов увеличилась наиболее жизнеспособными и гибкими, оказались компании, занимающиеся предоставлением как коммерческих, так и некоммерческих услуг.

В странах с развитой экономикой доля сферы услуг занимает 70-80% ВВП, доля работников, которые задействованы в этой сфере – более 65%. В РФ доля сферы услуг в ВВП составляет на 2019 г. – 62,3%, а доля работников, занятых в сфере оказания услуг превышает 55,8%.

Однако следует заметить, что по сравнению со сферой производства сфера услуг является менее стабильной, она более динамична, а также в большей степени нуждается в инновациях.

Услуга – это та сфера деятельности, которая не производит ни материальных ценностей, ни самостоятельного продукта никакого материального объекта, то есть это деятельность предоставляется потребителю в обмен на его ресурсы. Сфера услуг является частью экономики страны и в ее состав входят как коммерческие, так и некоммерческие услуги.

Инновация в сфере услуг представляет собой результат инновационной деятельности, которая удовлетворяет как потребности потребителя, так и потребности производителя.

Внедрение инновационного менеджмента в компаниях работающих в сфере услуг зависит от специфики конкретной компании. Во-первых, если работа компании сферы услуг является неэффективной, то для получения прибыли внедряется система инновационного менеджмента. Во-вторых, для того чтобы

компания была конкурентоспособна на рынке оказания услуг необходимо регулярно внедрять инновации в разные сферы, скажем в технологии, в процесс управления персоналом и т.п. Таким образом в результате постепенного обновления формируется инновационный менеджмент, который учитывает специфику деятельности конкретной компании.

В сфере предоставления услуг очень большую значимость играет персонал компании в связи с прямым взаимодействием работника компании с клиентом и для клиента процесс оказания услуги является таким же важным, как и сам результат.

Не всегда создание какой-либо инновационной услуги в отечественных компаниях обеспечивается ее качественным предоставлением. Цель инновационного менеджмента как раз и состоит в том, чтобы эта новая инновационная услуга была качественно оказана.

Следовательно, ни в коем случае недопустимо забывать о потребителе так как это может привести к резкому снижению конкурентоспособности компании.

INNOVATIVE MANAGEMENT IN THE SERVICE SECTOR

Ivaev M. I., Kazakova M. S.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

This article suggests ways to improve the quality of customer service by introducing innovative management into the company.

АКТУАЛЬНОСТЬ И СПЕЦИФИКА ПРОВЕДЕНИЯ АУДИТА ВЕБ-САЙТА

Иваев М. И., Испулов В. Р.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Аудит сайта позволяет найти проблемы, которые препятствуют повышению эффективности работы сайта на нескольких уровнях. Если учесть, что значительная, если не подавляющая часть веб-сайтов нацелена на продажи товаров и услуг предприятий, с которыми они аффилированы, то эффективность выражается в увеличении числа эффективных контактов целевой аудитории компании с товарными страницами (контентом их является описание конкретного товара или услуги компании) веб-сайта.

Эффективность взаимодействия можно представить в виде воронки, где на каждый последующий уровень (последним является акт онлайн-продажи или звонок с целью заказа) попадает лишь часть привлеченной в рамках предыдущего этапа аудитории.

Аудит сайта способен помочь на каждом этапе найти проблему и исправить ее, тем самым обеспечивая наращивание процента перехода аудитории к следующему этапу и как результат – рост числа продаж, инициируемых сайтом. Например, изучение каналов трафика на сайт в целом дает представление, посредством чего попадают пользователи на сайт (реклама, поисковые системы, социальные сети). Особое внимание, как наиболее коммерчески эффективному, следует уделить поисковому трафику и тут аудит позволит проверить видимость страниц сайта в поисковых системах (позиции по целевым запросам), взаимодействие сайта с поисковиком (насколько верно поисковая система определила структуру сайта, с какой периодичностью и какие разделы посещает, какие страницы ИПС считает некачественными и т.д.).

Улучшение соответствия сайта требованиям поисковых систем, как правило приводит к росту позиций страниц веб-сайта по большинству запросов, отражающих его отраслевую принадлежность. Помимо этого можно провести изучение поведенческих характеристик аудитории с использованием систем веб-аналитики (например, Яндекс.Метрики). Аудит веб-сайта важен и является необходимым для увеличения экономической эффективности компании в Интернете, часть элементов можно произвести вручную, интерпретация, гипотезы и рабочие процессы в рамках аудита являются прерогативой человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хасаншин И.А., Кудряшов А.А, Крюкова А.А. Цифровая экономика: учебник для вузов. М.: Горячая линия - Телеком, 2020. 288 с.

RELEVANCE AND SPECIFICITY OF THE WEBSITE AUDIT

Ivaev M. I., Ispulov V. R.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The article substantiates the importance and the most relevant for the digital economy areas of website audit.

УДК 338.12

МЕХАНИЗМЫ ГЕЙМИФИКАЦИИ КАК ЭЛЕМЕНТ ПРИВЛЕЧЕНИЯ АБИТУРИЕНТОВ В ВУЗ

Казакова М. С., Иваев М. И.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Для улучшения процесса привлечения абитуриентов в вуз сегодня необходимо применять инновационные технологии. Одной из таких технологий является использование механизмов геймификации.

С помощью адаптации игровых методов можно разработать платформу, где абитуриенты смогут не только получать актуальную информацию о событиях в вузе (дни открытых дверей, дни абитуриента и т.д.), но и путем выполнения определенных заданий получать дополнительное поощрение. Таким образом будет повышен уровень лояльности абитуриентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крюкова А.А., Зарецкая М.С., Казаков К.П. Разработка инновационной системы рейтинговой оценки студентов учебных заведений с использованием механизмов геймификации // Труды Северо-Кавказского филиала московского технического университета связи и информатики. 2015. №2. С. 84–85.

MECHANISMS OF GAMIFICATION AS AN ELEMENT OF ATTRACTING APPLICANTS TO THE UNIVERSITY

Kazakova M. S., Ivaev M. I.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

To improve the process of attracting applicants to a university today, it is necessary to apply innovative technologies. One of these technologies is the use of gamification mechanisms.

By adapting game methods, it is possible to develop a platform where applicants will be able not only to receive up-to-date information about events at the university (open days, applicant days, etc.), but also to receive additional encouragement by completing certain tasks. Thus, the level of loyalty of applicants will be increased. The report shows the issues of training employees of Russian Railways in optical communications.

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАТЕЖЕЙ В ЭПС НА ПРИМЕРЕ ЮМАНИ

Кудряшов А. А., Гузь А. Р.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

С развитием цифровой экономики проблема безопасности ЭПС является актуальной и на сегодняшний день, так как электронные деньги принимают все большие обороты в современной экономической системе любой страны мира. По статистике сейчас 50% покупок происходит с использованием электронных средств оплаты, лишь 1/3 покупателей используют наличные, а 70% людей используют хотя бы раз в месяц электронные кошельки.

Часто поднимается вопрос о безопасности ЭПС. Участились случаи мошенничества в Сети. Особенность мошенничества - многие методы не являются нарушением закона в явном виде, и это не позволяет наказывать преступников по закону.

Для безопасности ЭПС применяются различные технологии: аутентификация, криптографические методы шифрования, доступ с помощью USB-ключей.

Рассмотрим ЭПС Юмани. Это платежная система от компании Яндекс существует с 2002 года. Заслужила признание за удобство использования и простоту. Дает возможность осуществлять безналичные платежи в интернете, где средства разбиты по электронным кошелькам. Компания Яндекс постоянно работает над безопасностью. Одним из критериев является шифрование кошельков. Оно обеспечивается путем криптоалгоритма RSA с хешированием. 1-ым уровнем защиты является пароль. На защищенных серверах хранятся данные о кошельках. Данные клиентов строго конфиденциальны, хранятся на серверах в зашифрованном формате. Каждая транзакция передается

в защищенном виде и шифруется на стороне отправителя. Электронные контракты подтверждают денежные операции, они заверены подписями процессингового центра. Плюс на сайте используется защищенный сертификат SSL.

Таким образом, проанализировав проблему безопасности платежей в электронно-платежной системе на примере Юмани, можно сделать вывод, что степень защиты и безопасности данной компании позволяет надежно совершать платежи в электронной платежной системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов О.М., Мамута М.В. Электронные деньги в российской платежной системе // Банковское Дело. 2008. №10. С. 65
2. РосБизнесКонсалтинг // РосБизнесКонсалтинг. URL: <https://www.rbc.ru/>, свободный. (дата обращения: 15.09.2021).
3. Сомов К.А., Кудряшов А.А. Разработка информационной системы для интерактивного взаимодействия пользователя с веб-сервисом культурно-развлекательных услуг // Научный электронный журнал Меридиан. 2020. № 1(35). С. 33-35.

PROBLEMS OF PAYMENT SECURITY IN EPS ON THE EXAMPLE OF YOOMONEY

Kudriashov A. A., Guz A. R.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

The article presents the problems of security of payments in electronic payment systems, statistics of fraud on the Web and an example of security on EPS using the example of YooMoney.

ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ВУЗА

Кудряшов А. А.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Формирование цифровой экосистемы является необходимым элементом развивающейся организации любой отрасли экономики. В зависимости от специфики деятельности организации используются различные подходы к их структуре. В сфере высшего образования в основу экосистемы закладывают как правило учащиеся вне зависимости от уровня получаемого образования.

Однако, если рассматривать высшее учебное заведение с точки зрения экономики в целом, то оно является элементом ее развития, а значит должно обеспечивать ее потребности. В таком случае в основе формирования цифровой экосистемы вуза должен находиться бизнес как неотъемлемая составляющая экономики (Рис. 1).

Можно выделить четыре основных элемента такой экосистемы: во-первых, многоуровневая подготовка квалифицированных кадров в которых крайне заинтересован бизнес; во-вторых, продукт как результат научно-исследовательской деятельности вуза; в-третьих, технологии, используемые в научном, организационно-управленческом и образовательном процессе; в-четвертых, каналы, используемые для взаимодействия на всех уровнях цифровой экосистемы с каждым элементом цифровых платформ вуза.

Безусловно, изменение основного элемента экосистемы, в данном случае бизнес, повлечет изменение всей экосистемы, что несколько усложняет процесс, вместе с тем, вузам необходимо определить приоритеты дальнейшего развития еще на начальном

этапе формирования цифровой экосистемы поскольку ошибка может привести к плачевным финансовым и последствиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипова Т.А., Кудряшов А.А., Мишин Д.В., Осипов О.В. Ядерно-кластерная модель платформы "цифровой университет" и аспекты ее практической реализации // Инфокоммуникационные технологии. 2020. Т. 18. № 1. С. 76-89.
2. Кудряшов, А. А., Шолина А.И. Инфраструктура цифровой экономики // Актуальные вопросы современной экономики. 2018. № 5. С. 25-32.
3. Хасаншин И.А., Кудряшов А.А., Кузьмин Е.В. Цифровая экономика. Учебник для вузов М.: Горячая линия – Телеком, 2019. 288 с.
4. Казакова М.С., Кудряшов А.А. Разработка комплекса мер по успешному привлечению абитуриентов в отраслевые вузы в сети Интернет // Креативная экономика. 2021. Т. 15. № 7. С. 2939-2952.

ELEMENTS OF THE DIGITAL ECOSYSTEM OF THE UNIVERSITY

Kudryashov A. A.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

The article examines an university's structure of the digital ecosystem.

УДК 51-77

**АНАЛИЗ СПОСОБОВ ФОРМИРОВАНИЯ
ИНФОРМАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА ЭЛЕКТОРАТ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО
СОПРОВОЖДЕНИЯ ВЫБОРНЫХ КАМПАНИЙ**

Полянский И. С., Логинов К. О.

*(ФГКВООУ ВО «Академия Федеральной службы охраны
Российской Федерации»)*

В работе выделены основные политико-коммуникационные технологии формирования общественного мнения при проведении избирательных кампаний с уточнением их отличительных черт, определены агенты влияния на социум, при объединении в группы, уточнены классификационные признаки разделения электорального пространства, проведен ретроспективный анализ существующих моделей оценки информационного воздействия при соотнесении с современными численными методами анализа, синтеза и управления сложными системами [1–3].

К основным политико-коммуникационным технологиям отнесены: политическая пропаганда, предвыборная агитация, политическая реклама, политический PR, создание имиджа.

В качестве агентов влияния на социум выделены: масс-медиа и взаимовлияние электората при межличностном общении. К масс-медиа отнесены средства массовой информации и социальные медиа.

Разбиение социальных групп производится по характеристикам, учитывающим требования социальной модели, предложенной П. Лазерфельдом [4], и на основании степени приверженности электората кандидату (партии). Градация приверженности проведена по трем уровням: нейтрально настроенные индивиды, предадепты и адепты.

При анализе существующих моделей информационного влияния на электорат выделены их основные аналитические особенности, требующие учета при построении математической модели процессов информационного воздействия на электорат в ходе выборных кампаний различного уровня.

Указанные результаты более подробно обсуждаются в докладе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Социальные сети: модели информационного влияния, управления и противоборства. М.: Физматлит, 2010. 228 с.
2. Полянский И.С., Беседин И.И., Панин Б.Л. Математическая модель комплекса инженерно-технических средств системы физической защиты объекта охраны // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-6. С. 1359–1365.
3. Polyanskii I.S., Arkhipov N.S., Misyurin S.Y. On solving the optimal control problem // Automation and remote control, 2019. Vol. 80(1), P. 66–80.
4. Lasarsfeld, P. The Peoples Choice. N.Y., 1969. 48 p.

ANALYSIS OF THE WAYS OF FORMATION OF INFORMATION IMPACT ON THE ELECTORATE IN ORGANIZATION OF ELECTION CAMPAIGNS'S INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT

Polyanskii I. S., Loginov K. O.

(The Academy “FGS Russian”)

The main political and communication technologies of forming public opinion during election campaigns are highlighted. Agents of influence on society are defined when combining into groups. The classification features of the division of the electoral space have been clarified.

СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ

УДК 621.316 722

АМПЛИТУДА ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА НАПРЯЖЕНИЯ ПОНИЖАЮЩЕГО ТИПА

Вороной А. А., Демидов Р. С., Патикин С. С.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)

Расчет ЛЧХ ИСН-1 производится по формуле:

$$W(s) = \frac{K \cdot e^{-s\tau_3}}{T_\phi^2 s^2 + 2\xi T_\phi s + 1} \approx \frac{K(1 - \tau_3 s)}{T_\phi^2 s^2 + 2\xi T_\phi s + 1} . \quad (1)$$

На практике для получения ЛЧХ ИСН понижающего типа без учета коррекции можно с использованием ЭВМ. На рисунке 1 представлен листинг программы для получения ЛЧХ ИСН с использованием программы MathCAD.

```
n := 1, 1.1..5
pci := 0.75
j := sqrt(-1)
f(n) := 10^n
p(n) := j * 2 * pi * f(n)
pi = 3.141593
Tf := 0.24 * 10^-3
K := 40
taw := 5 * 10^-6
W(n) := (K * (1 - taw * p(n))) / (Tf^2 * p(n)^2 + 2 * pci * Tf * p(n) + 1)
```

Рис. 1. Листинг программы

Для определения устойчивости импульсного регулятора с обратной связью можно использовать классические критерии устойчивости Найквиста. Согласно частотному критерию Найквиста, если система устойчива, то амплитудно-фазовая характеристика передаточной функции $W(j\omega) = V(\omega) + jV(\omega)$ не должна охватывать точку с координатами $(-1; j0)$. Если обратиться к

логарифмическому критерию Найквиста, то из нее видно, что система устойчива в случае когда во всей области частот, где ЛАЧХ L_{nc} – положительна, т.е. до частоты среза f_{cp} , фазовая характеристика (ФЧХ) проходила выше уровня $-\pi$ или -180° .

Используя классические критерии устойчивости и выражения передаточной функции, была произведена оценка устойчивости импульсного регулятора с обратной связью. Анализируется влияние амплитуды опорного напряжения на устойчивость импульсного стабилизатора напряжения понижающего типа при детерминированных параметрах системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриков В.Ф., Сергеев В.В., Самылин И.Н. Повышение эффективности преобразовательных и радиотехнических устройств. М.: Радио и связь, 2005. 424 с.
2. Шушпанов Д.В. Высокоэффективные импульсные преобразователи напряжения с ШИМ и распределенные системы электропитания на их основе: дис. ... канд. тех. наук: 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». СПб, 2005. 244 с.

THE AMPLITUDE OF THE REFERENCE VOLTAGE OF THE PULSE VOLTAGE STABILIZER OF THE STEP- DOWN TYPE

Voronoy A. A., Demidov R. S., Patikin S. S.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

Based on the classical stability criteria, using the expressions of the transfer function, according to the flowchart, the stability of the pulse controller with feedback is estimated.

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОХРАНЫ И ИХ ПОДТИПОВ

Вороной А. А., Стрюков Д. М., Ушмодин В. А.

*(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)*

Обслуживание систем ИБП дешевле по сравнению с генераторами. В отличие от ИБП, генераторы не обеспечивают бесперебойную работу устройств после потери основного устройства. Однако генераторы обеспечивают питание в течение более длительного периода времени по сравнению с ИБП. Системы ИБП не обеспечивают питание так долго, потому что они питаются от батарей.

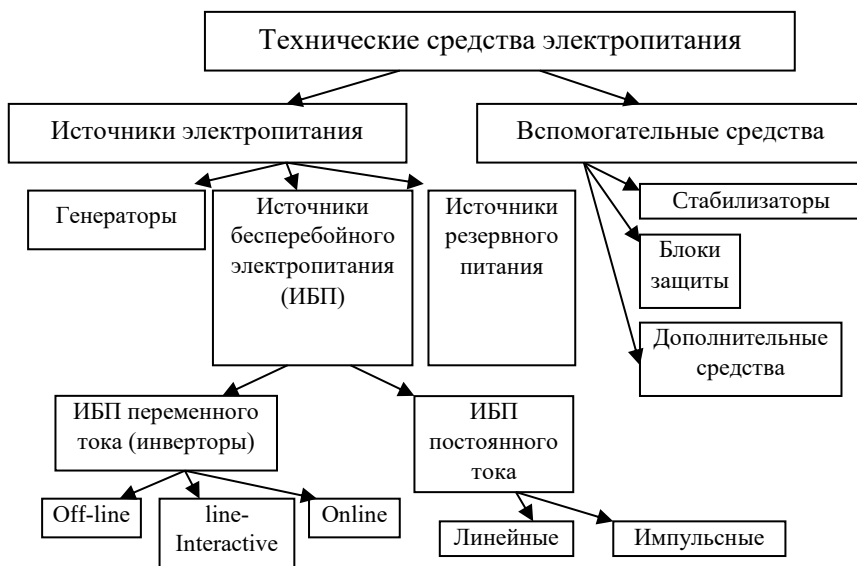


Рис. 1. Средства Электропитания для оборудования систем безопасности

Так же стоит выделить классификацию таких устройств как устройства защиты от перенапряжения (супрессоры). Однако устройства защиты от перенапряжения не работают во время перебоев в подаче электроэнергии или в случаях, когда основной источник питания не используется.

Инверторы мощности - это устройства, которые преобразуют постоянный ток в переменный. Силовые инверторы обычно подключаются к внешнему источнику постоянного тока и непрерывно преобразуют ток в переменный. В инверторах питания обычно используется одна или несколько батарей для хранения энергии. При использовании инверторов мощности возникает задержка в передаче мощности от первичного источника питания к вторичному источнику питания при отключении основного питания. Автоматические регуляторы напряжения (АРН) будут контролировать входное напряжение, чтобы минимизировать колебания напряжения. АРН обычно используются как в преобразователях мощности, так и в инверторах.

THE POWER SUPPLY IN THE SYSTEMS OF TECHNICAL MEANS OF PROTECTION AND THEIR SUBTYPES

Voronoy A. A., Strukov D. M., Ushmodin V. A.

*(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and
Informatics”)*

The existing classification does not reflect the specifics of the principle of action, is eclectic and requires detail. The new classification of the main types of technical means of power supply for the equipment of security systems proposed in this work according to the purpose and method of converting electric energy will allow practical workers, specialists of design organizations to better navigate the range of products offered on the market and use them more effectively in their activities.

УДК 621.316.722

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУДОВЫХ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ С УСТРОЙСТВОМ
КОМПЕНСАЦИИ НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ**

*Дмитриев Б. Ф., Галушин С. Я., Балицкая К. В.,
Корнев А. С.*

*(ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет»)*

Структуры судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) значительно многообразнее, чем традиционные системы электроснабжения. В [1,2] замечено, что в процессе проектирования транспортных систем, как правило, необходимо учитывать критерии эффективности, параметры электроэнергии и ЭМС оборудования.

На рис. 1 в данной работе представлена структура СЭЭС, определяемая непосредственно потребителями электроэнергии, к критериям эффективности которой относятся: масса, КПД, показатели надежности и качества электроэнергии, стоимость затрат на эксплуатацию и ее приобретение. Коэффициент полезного действия (КПД) СЭЭС определяет эффективность преобразования электроэнергии. При оптимизации СЭЭС критерии массы и КПД противоречивы. Согласно [3,4] в процессе проектирования СЭЭС учитываются климатические условия работы, эксплуатационные особенности, а также проблемы, касающиеся ЭМС устройств в связи с достаточно компактным размещением необходимого оборудования. Важным показателем является мощность СЭЭС, от которой зависят критерии эффективности системы в целом. Значение ее определяется потребителями. Для ответственных потребителей необходимо создать оптимальный резерв источников и преобразователей.



Рис. 1 Структурная схема взаимосвязи СЭЭС с основными системами судна [4]

Для улучшения качества электроэнергии на сегодняшний день используется компенсаторы неактивной мощности.

Компенсаторы неактивной мощности менее 10 МВА могут быть успешно реализованы на основе трехфазных трехуровневых схем с топологией раздельных схем для силовой части-компенсации реактивной мощности основной гармоники и фильтрации высших гармоник тока с общей системой управления и в едином конструктивном исполнении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российский морской Регистр судоходства. – Правила классификации и постройки морских судов. НД №2-020101-077. 2014. Т.2, 56 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: Москва: Стандартинформ. 2014. 19 с.
3. Агунов А.В. Статический компенсатор неактивных составляющих мощности с полной компенсацией гармонических составляющих тока нагрузки // Электротехника. 2003. №2. С. 24-27.

4. Дмитриев Б.Ф., Галушин С.Я., Калмыков А.Н., Егорова А.Д. Средства повышения качества электрической энергии в СЭЭС // Морской Вестник. 2020. №3(75). С. 77-80

INACTIVE POWER COMPENSATION DEVICE IN FREQUENCY CONVERTERS AS PART OF SHIP POWER SYSTEMS

***Dmitriev B. F., Galushin S. Ya., Balitskaya K. V.,
Kornev A. S.***

(“St. Petersburg State Marine Technical University)

The control of the operating modes of the propulsion electric motor is carried out by semiconductor frequency converters, the use of which significantly degrades the quality of electricity on the common buses of the ship power systems.

УДК 621.31/.37

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАЗИТНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ДРОССЕЛЕЙ И КОНДЕНСАТОРОВ,
ЗАЗЕМЛЕНИЯ, ЭКВИВАЛЕНТА СЕТИ И ИСТОЧНИКА
ПИТАНИЯ НА ОСЛАБЛЕНИЕ ФРП**

*Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В., Петроченко А. Ю.,
Караев Ф. Ш.*

*(ФГОБУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-
Бруевича»*

При проектировании радиоэлектронной аппаратуры в том числе фильтров радиопомех (ФРП) необходимо использовать поведенческие модели (эквивалентные электрические схемы замещения) электронной компонентной базы, в том числе конденсаторов и дросселей. Основными факторами, определяющими импедансы конденсаторов и дросселей, являются их конструкции (обмотка дросселя, выводы проводников и металлизация вкладок конденсатора), а также емкостная составляющая комплексной магнитной проницаемости дросселя и комплексной магнитной проницаемости материала диэлектрика. Синтез эквивалентных электрических схем замещения не устанавливает связь схем замещения конденсаторов со свойствами материалов диэлектрика и дросселя со свойствами материала сердечника. Учитывая подобные связи, можно более обоснованно подходить к выбору диэлектрика конденсатора и сердечника дросселя. Тем самым оптимизировать схемы ФРП для симметричных и несимметричных помех.

Проведенные исследования доказали сильное влияние на характеристики ослабления помех паразитных индуктивностей на проводах заземления.

При проектировании ФРП, необходимо учитывать эквивалентное сопротивление сети и эквивалентное сопротивление

источника питания. Обычно, при проектировании ФРП считается эквивалентное сопротивление сети и источника питания резистивными равными 50 Ом. Было рассмотрено в соответствии с CISPR 17 [1] (международная специализированная радиоэлектронная служба) влияние сопротивления эквивалента сети и источника питания, когда сопротивление эквивалента сети равняется 0,1 Ом, а источника питания 100 Ом.

Кроме того, было рассмотрено негативное влияние паразитных индуктивностей в конденсаторе (от 1 до 10 нГн) при шунтировании низкочастотных конденсаторов большей емкости высокочастотными конденсаторами с малой паразитной индуктивностью и малой емкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уилльямс. Т. ЭМС для разработчика продукции. М.: Издательский дом «Технологии», 2003. 540 с.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF INDUCTORS AND CAPACITORS PARASITIC PARAMETERS, NETWORK AND POWER SUPPLY EQUIVALENTS, GROUNDING ON THE RADIO INTERFERENCE FILTER ATTENUATION

***Dmitrikov V. F., Shushpanov D. V., Petrochenko A. Yu.,
Karaev F. S.***

*(“The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of
Telecommunications”)*

A study was carried out of the influence of parasitic parameters of inductors and capacitors, grounding, network equivalent and power supply equivalent on filter attenuation. A single-link line filter is modeled and designed.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ СГЛАЖИВАЮЩИХ
ФИЛЬТРОВ ИПН С РЕЗИСТИВНОЙ ИЛИ
КОМПЛЕКСНОЙ, СТАТИЧЕСКОЙ ИЛИ
ИМПУЛЬСНОЙ НАГРУЗКОЙ**

*Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В., Петроченко А. Ю.,
Караев Ф. Ш.*

*(ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-
Бруевича»*

Выходной сглаживающий фильтр (СФ) является одним из наиболее значимых элементом любого типа ключевых источников вторичного электропитания (ИВЭП). Им во многом определяются такие важные характеристики как пульсации выходного напряжения, динамические, массогабаритные характеристики, возможность работы на динамическую нагрузку, устойчивость ИВЭП. Массогабаритные характеристики СФ могут достигать до 60% от массогабаритных характеристик ИВЭП в целом, что предъявляет особые требования к проектированию и расчету выходного СФ.

Расчету выходных СФ посвящено много статей. Однако рассматриваются, в основном, методы расчета, позволяющие проектировать однозвенные и многозвенные СФ по требуемому уровню пульсаций выходного напряжения для статической нагрузки без учета влияния резистивных потерь дросселя и конденсатора СФ на величину и форму пульсаций, коэффициента стабилизации выходного напряжения, устойчивости работы импульсного преобразователя напряжения (ИПН) и запасов устойчивости петлевого усиления цепи ООС по амплитуде и фазе. Помимо этого приводятся результаты исследования и разработки проектирования СФ с учетом ряда требований, которые имеют очень важное значение и не освещены в литературе:

перенапряжения, возникающие на конденсаторе различных типов СФ при работе на динамическую нагрузку; влияние различных типов СФ на устойчивость и запасы устойчивости петлевого усиления отрицательной обратной связи ИВЭП; влияние емкости конденсатора и индуктивности дросселя различных типов СФ на энергетические характеристики ИПН (токи транзисторов, диодов, дросселя и конденсатора), перегрев и срок службы электролитического конденсатора СФ как наиболее ненадежного элемента ИВЭП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриков В.Ф., Сергеев В.В., Замулин О.Л., Шушпанов Д.В., Павлов А.В. Расчет сетевого фильтра радиопомех для источника бесперебойного питания // Практическая силовая электроника. 2011. №2 (42). С. 23 - 36.
2. Дмитриков В.Ф., Шушпанов Д.В. Устойчивость и электромагнитная совместимость устройств и систем электропитания. М.: Горячая линия – Телеком, 2018. 540 с.

DESIGNING POWER SMOOTHING FILTERS FOR PULSE VOLTAGE CONVERTERS WITH RESISTIVE OR COMPLEX, STATIC OR IMPULSE LOAD

***Dmitrikov V. F., Shushpanov D. V., Petrochenko A. Yu.,
Karaev F. S.***

*(“The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of
Telecommunications”)*

The results of the research and development of the design of the smoothing filter (SF) are given, taking into account a number of requirements: overvoltage, the influence of various types of SF on the stability and stability margins of the loop amplification of the negative feedback of the power supply.

РАСЧЕТ ЦЕПЕЙ КОРРЕКЦИИ ВХОДНОГО ФИЛЬТРА ИИЭ

Артемасов А. С., Вороной А. А., Нечухраний А. Е.
(ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики»)

Постоянно возрастающие требования к качеству электроэнергии происходят на фоне того, что требования на устройства преобразования электроэнергии имеют строгие требования, что накладывает определенные ограничения. Одно из возрастающих требований к качеству электроэнергии – качество потребляемого тока от первичного источника электропитания. Импульсные источники электропитания имеют высокий КПД, т.е. высокие массогабаритные показатели, что и обусловило их широкое применение. Однако они имеют и ряд недостатков. Наличие входного фильтра влечет за собой проблему анализа импульсного источника электропитания на устойчивость.

Производится оценка влияния входного фильтра на характеристики устойчивости исследуемой системы (ИСН-входной фильтр) и анализируется с учетом корректирующей цепи. Для параметров ИСН с использованием частотной коммутации ключа, которая равна 20 кГц, рекомендуется использовать входной фильтр, параметры которого приведены ниже:

- индуктивность входного фильтра $L_0=0,5$ мГн,
- емкость входного фильтра $C_0=200$ мкФ
- сопротивление $R_0=0,1$ Ом.

Провести оценку устойчивости ИСН с обратной связью возможно с использованием классических критериев устойчивости, по его придаточной функции:

$$H_{ex}(s) = \frac{1}{L_0 C_0 s^2 + R_0 C_0 s + 1}.$$

Передаточная функция входного фильтра с RC коррекцией

$$H_{\text{вх}}(s) = \frac{snC_0R_p + 1}{s^3L_0C_0^2nR_p + s^2(1+n)L_0C_0 + sR_pnC_0 + 1}.$$

Условие подавления пульсаций с частотой коммутации ключа в линию первичного источника электропитания обеспечивается и составляет 55 дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейтенко А.Е., Осипов О.В. Математические модели преобразователей напряжения централизованного и демократического типов // XV Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов», 2017. Т.4. С. 287.
2. Дмитриков В.Ф., Коржавин О.А., Шушпанов Д.В. Устойчивость распределенной системы электропитания с учетом промежуточных фильтров // Практическая силовая электроника. 2010. № 4 (40). С.28-35.

CALCULATION OF INPUT CORRECTION CIRCUITS SWITCHING POWER SUPPLY FILTER

Artemasov A. S., Voronoy A. A., Nechuhranij A. E.

(“Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics”)

A simulated pulse voltage stabilizer system with an unoptimized input filter, with a corrective RC , RL -circuit, an engineering calculation of correction circuits involved. This calculation confirms the regularity of the main theoretical provisions on the need to select rational parameters of the incoming confrontation, as well as the choice of parameters of the correction circuits of the input films of the pulse voltage stabilizer.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ.....	5
<i>Ивахник В. В., Капизов Д. Р., Никонов В. И.</i> Четырехволновой преобразователь излучения в волноводах с керровской и тепловой нелинейностями при больших коэффициентах отражения.....	6
<i>Мартынова В. Ю.</i> Распространение ТЕ-волн в открытом цилиндрическом волноводе, заполненном нелинейной неоднородной средой.....	8
<i>Мачихин В. А., Антипова Т. А.</i> Анализ временного ряда, получаемого из ЭЭГ испытуемого методами теории детерминированного хаоса	10
<i>Мачихин В. А., Антипова Т. А.</i> Анализ временного ряда, получаемого из ЭЭГ испытуемого методами теории спектрального анализа	12
<i>Мачихин В. А., Пичугина П. Г., Никольская Ю. В., Антипова Т. А., Поляков В. А., Табаков Д. П.</i> Изучение когнитивных вызванных потенциалов (фрактальный и вейвлет анализ).....	14
<i>Панин Д. Н., Безлюдников К. О.</i> Анализ существующих методов дистанционного зондирования для измерения влажности почвы	16
<i>Полянский И. С., Степанов Д. Е.</i> К вопросу определения поверхностной плотности тока на освещенных и теневых сторонах бесконечно тонких экранов в приближении барицентрического метода	18
<i>Смолькин Е. Ю., Снегур М. О.</i> Расчет комплексных волн диэлектрического слоя.....	20
<i>Тихов С. В., Валовик Д. В.</i> Задача о распространении электромагнитных ТМ-волн в плоском экранированном волноводе, заполненном неоднородной нелинейной средой.....	22
<i>Яцьишен В. В., Вережкина К. Ю.</i> Отражение и прохождение световой волны от периодической структуры с резонансным дефектом.....	24

<i>Яцышен В. В., Григорян А. А.</i> Дисперсионные характеристики поверхностных и объемных поляритонов в кристалле LiF вблизи фоннного резонанса	26
<i>Яцышен В. В., Потапова И. И.</i> Частотные спектры отражения и прохождения света для тонкой пластинки из нанокompозита ...	28
<i>Зайцев В. Б., Карлов А. В.</i> Нелинейные осцилляторы в дискретном времени: синтез динамических систем.....	30
СЕКЦИЯ 2. МЕТА – И НАНОСТРУКТУРЫ.....	32
<i>Головастиков Н. В., Безус Е. А., Быков Д. А., Досколович Л. Л.</i> Связанные состояния в континууме и исключительные точки в каскадных структурах нанофотоники	33
<i>Богданова Е. И., Головкина М. В.</i> Влияние концентрации сверхпроводящих включений на положение максимума плазмонного резонанса в композитной среде.....	35
<i>Головкина М. В., Петропавловский В. М.</i> Решетка вихрей абрикосова в наночастицах из высокотемпературного сверхпроводника.....	37
<i>Давыдова В. С., Осипов О. В.</i> Разработка методики использования медных S-элементов для резонансной концентрации СВЧ-энергии.....	39
<i>Лиманова А. И., Осипов О. В.</i> Решение задачи об отражении волны от планарного слоя из кирального метаматериала на основе двухвитковых тонкопроволочных спиралей.....	41
<i>Осипов О. В., Бучнев И.Ю.</i> Собственные волны круглого кирального волновода с учетом гетерогенности метаматериала	43
<i>Осипов О. В., Троицкая М. К.</i> Исследование зависимости прошедшей мощности через метаматериал на основе гаммадионов от расстояния между элементами.....	45
<i>Осипов О. В., Троицкая М. К.</i> Исследование отражения плоской электромагнитной волны от кирального слоя на основе S-элементов.....	47

<i>Осипов О. В., Троицкая М. К.</i> Метод построения математической модели кирального метаматериала из микровключений различных видов	49
<i>Панин Д. Н., Кузнецов Я. М.</i> Зависимости коэффициентов отражения плоской электромагнитной волны от концентрации включений в киральном метаматериале по моделям максвелла Гарнетта и Бруггемана	51
<i>Булыга Д. В., Евстропьев С. К., Морковский А. Д., Пашин С. С.</i> Результаты исследования влияния различных органических стабилизаторов на морфологию и спектральные свойства наночастиц сульфида свинца.....	53
<i>Пименова С. А., Осипов О. В.</i> Применение двухсторонних приближенных граничных условий для тонкого кирального слоя в волноводе.....	55
<i>Рогова Н. В.</i> Исследование зависимостей коэффициентов отражения и прохождения для бианизотропного метаматериала с учетом дисперсионных свойств	57
<i>Цилимбаев Н. А., Осипов О. В.</i> Исследование прохождения оптической волны через трехслойный киральный метаматериал на основе соединений кварца SiO_2 и исландского шпата CaCO_3	59

СЕКЦИЯ 3. ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ.....

<i>Бирюков В. В., Бисярин М. Н., Едоков Д. С., Малахов В. А., Щербаков В. В.</i> Определение местоположения спутников ГЛОНАСС и GPS с использованием планарной антенной решетки, расположенной на летательном аппарате	62
<i>Былина М. С., Глаголев С. Ф., Семенов А. Б.</i> Параметры передачи кабельных цепей с проводниками эллиптической формы	64
<i>Григорьев Д. П., Телегин А. М.</i> Применение нейронных сетей для шумоподавления сигналов с пьезодатчиков на борту космического аппарата	66

<i>Капустин С. А., Раевский А. С. Моделирование комплексного резонанса системой связанных контуров</i>	<i>68</i>
<i>Кирпичникова М. Ю., Лукина Д. Д. Актуальность облачного видеонаблюдения</i>	<i>70</i>
<i>Кирпичникова М. Ю., Щербовских Е. С. Обзор методов вычитания фона в видеоизображении.....</i>	<i>72</i>
<i>Мясников Д. Л., Ложкин Л. Д. Оценка яркостной характеристики в программном обеспечении</i>	<i>74</i>
<i>Мясников Д. Л., Ложкин Л. Д. Исследования вопросов точности цветопередачи</i>	<i>76</i>
<i>Куляс О. Л., Лошкарев А. С., Назаренко П. А., Никитин К. А., Сивков В. С. Программное обеспечение контроля внутренней поверхности трубопроводов.....</i>	<i>78</i>
<i>Андреев М. В., Бирюков В. В., Лискович А. П., Малахов В. А., Раевский А. С. Блок приемопередачи цифровых данных в составе радиорелейной линии субтерагерцового диапазона</i>	<i>80</i>
<i>Раупов Р. Р., Афанасьев В. В. Оценка эффективности подавления маскирующих хаотических сигналов многолепестковых систем функционально-режекторными фильтрами</i>	<i>82</i>
<i>Дегтярев А. Н., Афонин И. Л., Тыщук Ю. Н., Козуб М. С. OFDM – сигналы с ограниченным спектром</i>	<i>82</i>
<i>Тяжеев А. И. Построение цифровых систем разными вариантами схем</i>	<i>86</i>
<i>Макарычев Н. А., Назаров А. В., Османов Р. Р., Рыбаков Д. К., Царев Б. Ю. Программная и аппаратная реализация контроля параметров радиолокационных датчиков</i>	<i>88</i>
<i>Черевко А. Г., Моргачев Ю. В. Анализ достоинств печатных графеновых технологий в разработке антенных систем интернета вещей в дециметровом диапазоне сотовых операторов (LTE, GSM,5G)</i>	<i>90</i>
<i>Черевко А. Г., Моргачев Ю. В. Перспективы использования технологий нанесения графена для миллиметровой и субмиллиметровой части спектра (5-6G)</i>	<i>92</i>

СЕКЦИЯ 4. УСТРОЙСТВА СВЧБ АНТЕННЫ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ 94

- Арефьев А. С.* Аналитическое решение задачи синтеза трехзвенного ступенчатого СВЧ-фильтра с чебышевской частотной характеристикой 95
- Бажанова О. В., Бобрешов А. М., Завалишина О. Н., Степкин В. А., Титов К. Д., Усков Г. К.* Распространение сверхширокополосных импульсов над границей раздела двух сред 97
- Бирюков В. В., Бисярин М. Н., Едоков Д. С., Малахов В. А., Щербаков В. В.* Программный модуль визуализации диаграммы направленности многоэлементной плоской антенной решетки 99
- Разиньков С. Н., Богословский А. В.* Диаграммы рассеяния диэлектрических цилиндров с металлизацией поверхности 101
- Богословский А. В., Разиньков С. Н.* Оптимизация маршрутов движения беспилотных комплексов пассивной радиолокации при местоопределении источников радиоизлучений 103
- Бударагин Р. В., Киселев Д. И., Приходько Д. В.* Расчет и проектирование согласованной СВЧ-нагрузки большой мощности, охлаждаемой жидкостью 105
- Бузов А. Л., Бондарь П. И., Котков К. В., Минкин М. А., Нарышкин И. М.* Реализация парциальной диаграммы направленности излучателя, располагаемого на различных участках объекта сложной конфигурации 107
- Бузов А. Л., Бузова М. А., Носов Н. А., Шляхов А. В.* Использование экрана из метаматериала для увеличения развязки между антеннами Уда-Яги 109
- Бузов А. Л., Кольчугин Ю. И., Моторко А. И.* Характеристики распределенных излучающих систем WI-FI на протяженных городских площадках 111
- Бузова М. А., Карлов А. В., Красильников А. Д., Пестовский К. И.* Характеристики петлевого быстроразвертываемого антенного

излучателя ДКМВ диапазона при различных параметрах грунта	113
<i>Вальяров М. Э., Насыбулин А. Р., Степура А. В.</i> Оценка диэлектрических свойств оплодотворенных и неоплодотворенных куриных яиц.....	115
<i>Вальяров М. Э., Насыбулин А. Р., Степура А. В.</i> Анализ влияния СВЧ поля на первые дни развития куриного эмбриона.....	117
<i>Васильев А. Д.</i> Микроволновый датчик на основе объемного прямоугольного резонатора.....	119
<i>Веденькин Д. А., Сагдиева А. Р.</i> Выбор мест размещения антенн на объекте с учетом требований ЭМС и координационных расстояний.....	121
<i>Веденькин Д. А., Сагдиева А. Р.</i> Эффект мультифокусировки в сфокусированных антенных системах.....	123
<i>Артюшенко В. М., Воловач В. И.</i> Анализ диаграмм направленности фазированных антенных решеток под влиянием флуктуационных мультипликативных помех.....	127
<i>Гайнутдинов А. М.</i> Микроволновый датчик на основе микрополоскового сплиттера/комбайнера и SRR для характеристики диэлектрических свойств жидкостей в микропотоках.....	129
<i>Галимзянов Р. Э., Пикулев А. Н.</i> Микроволновый высокочувствительный датчик на основе LC-резонатора для измерения диэлектрической проницаемости жидкости в микропотоке.....	131
<i>Гаманова М. А., Демидов А. В., Ключев Д. С., Фролов А. О.</i> Методы и средства поиска электронных устройств перехвата информации с использованием анализаторов спектра в защищаемом помещении	133
<i>Гаманова М. А., Демидов А. В., Ключев Д. С., Фролов А. О.</i> Разработка инфракрасного тепловизора на базе контроллера Arduino Uno	135

<i>Демидов А. В., Ключев Д. С., Фролов А. О., Гаманова М. А.</i>	
Разработка универсального антенного модуля для ГНСС-приёмников	137
<i>Ефимов В. А., Фархутдинов Р. В., Насыбуллин А. Р.</i>	
Кусочно-однородная коаксиальная брэгговская СВЧ структура с нерегулярностями внутреннего проводника.....	139
<i>Алиев Д. С., Иванов А. В., Пастернак Ю. Г., Пендюрин В. А., Чесноков Е. С.</i>	
Сверхширокополосная антенна с квазитороидальной диаграммой направленности	141
<i>Иванов А. В., Николаев В. И., Пастернак Ю. Г., Пендюрин В. А.</i>	
Исследование возможности использования резонаторно-щелевой антенны в качестве подземной антенны УКВ диапазона	143
<i>Иванов А. В., Николаев В. И., Пастернак Ю. Г., Пендюрин В. А.</i>	
Исследование подземной антенны УКВ диапазона в виде патч-излучателя с метаматериальной подложкой.....	145
<i>Безруков Д. Е., Иконников В. Н., Корнев Н. С., Макарычев Н. А., Назаров А. В., Трегубенко Д. А.</i>	
О проверке двухчастотного радиоинтерферометра-радиометра миллиметрового диапазона длин волн.....	147
<i>Илларионов И. А.</i>	
Разработка низкопрофильной бортовой спиральной антенны L - диапазона.....	149
<i>Илларионов И. А., Дудкин М. И.</i>	
Пазовый способ возбуждения резонансной микрополосковой антенны	151
<i>Ишхаев Т. М., Насыбуллин А. Р., Шакиров Р. Ф.</i>	
Изготовление непланарной полосковой структуры при помощи 3D печати..	153
<i>Ишхаев Т. М., Насыбуллин А. Р., Шакиров Р. Ф.</i>	
Применение непланарных микрополосковых линий в сенсорных приложениях	155
<i>Захаров В. С., Ключев Д. С., Соколова Ю. В.</i>	
Расчет входного сопротивления тонкого электрического вибратора с учетом конечной ширины зазора	157
<i>Копылов Д. А.</i>	
Технология проектирования антенных систем на основе метаматериалов	159

<i>Коркина А. Р., Насыбуллин А. Р., Фархутдинов Р. В.</i> Микроволновый датчик на основе объемного кольцевого резонатора	161
<i>Коршунов С. А.</i> Методика расчета функции распределения плотности тока по рамочной излучающей структуре	163
<i>Кувшинов Н. Е.</i> Сравнение модулей измерения температур и интенсивности ЭМП.....	165
<i>Кувшинов Н. Е., Мисбахов Р. Ш.</i> Радиофотонный модуль измерения температур и интенсивности ЭМП	167
<i>Табакоев Д. П., Майоров А. Г.</i> О решении внутренней задачи электродинамики методом собственных функций.....	169
<i>Табакоев Д. П., Майоров А. Г.</i> Отслеживание собственных значений матриц импедансов при изменении частоты.....	171
<i>Табакоев Д. П., Валиуллин Р. М., Майоров А. Г.</i> Многовитковая киральная рамка: математическая модель, использование	173
<i>Табакоев Д. П., Валиуллин Р. М., Майоров А. Г.</i> Математическая модель двухзаходного спирального элемента для вычисления электромагнитного поля в любой точке пространства	175
<i>Табакоев Д. П., Валиуллин Р. М., Майоров А. Г.</i> Эллиптический спиральный элемент, спектральные коэффициенты разложения методом собственных функций.....	177
<i>Голубцов А. В., Макарычев Н. А. Марьевский С. В., Назаров А. В.</i> Взаимосвязь алгоритма работы бортового радиолокатора и конструкции устройства сканирования	179
<i>Михалицын Е. А.</i> Модель оценки технологического запаса на регулировку циркуляторов на сосредоточенных элементах	181
<i>Морозов С. В., Васильев Е. В.</i> Расчет входного сопротивления многозаходной конической спиральной антенны, расположенной над бесконечно протяженным металлическим экраном.....	183
<i>Морозов С. В., Мошков Н. Д.</i> Расчет диаграммы направленности антенны Yagi-Uda расположенной над экраном с учетом симметрии	185

<i>Морозов С. В., Сурков И. С.</i> Расчет входного сопротивления антенны, размещенной на стекле автомобиля	187
<i>Нестеров В. И.</i> Выбор контрольной трассы при прогнозировании внезапных ионосферных возмущений.....	189
<i>Нещерет А. М.</i> Дисперсионные модели объемных и планарных киральных метаматериалов с учетом гетерогенных свойств ...	191
<i>Нещерет А. М.</i> Разработка моделей излучающих структур на основе невзаимных киральных метаматериалов	193
<i>Павлов В. В., Насыбуллин А. Р., Самигуллин Р. Р.</i> Устройство для измерения параметров микроволновых метаматериалов	195
<i>Панин Д. Н., Тихомирова А. А.</i> Расчет отражений электромагнитной волны от слоя плазмы на идеальной металлической поверхности	197
<i>Пестовский И. Н.</i> Особенности обеспечения электромагнитной совместимости оборудования многофункциональных приемопередающих радиотехнических комплексов.....	199
<i>Нечаев Ю. Б., Пешков И. В.</i> Исследование цифровой антенной решетки с направленными элементами Яги-Уда для связи УКВ-диапазона ниже 1 ГГц.....	201
<i>Проценко М. Б., Громоздин В. В., Афонин И. Л., Поляков А. Л.</i> Особенности проведения сертификационных испытаний терминальных устройств космической связи и вещания гражданского назначения	203
<i>Полянский И. С., Голяткин В. Р.</i> Вычислительные особенности построения расчетных сеток в задачах электродинамического анализа зеркальных антенн.....	205
<i>Седельников Ю. Е., Веденькин Д. А., Потапова О. В.</i> Комплекс материалов для изучения дисциплины «ЭМС РЭС» по специальности «Радиоэлектронные системы и комплексы»....	207
<i>Проценко М. Б., Громоздин В. В., Афонин И. Л., Головин В. В., Щекатурин А. А.</i> Анализ термина «интеллектуальная антенна» применительно к технологиям беспроводной связи 5G	209

<i>Проценко М. Б., Громоздин В. В., Афонин И. Л., Головин В. В., Щекатурин А. А. Реализация антенных измерений в ближней зоне</i>	<i>211</i>
<i>Бударагин Р. В., Радионов А. А., Саласенко З. Ю. Расчет СВЧ-структур при наличии элементов с большими потерями</i>	<i>213</i>
<i>Бударагин Р. В., Саласенко З. Ю., Чарочкина Д. О. Расчет направляющих характеристик открытого прямоугольного диэлектрического волновода с потерями</i>	<i>215</i>
<i>Скрипаль А. В., Пономарев Д. В., Комаров А. А., Шаронов В. Е. Управление таммовскими резонансами в одномерных свч фотонных кристаллах.....</i>	<i>217</i>
<i>Скрипаль А. В., Пономарев Д. В., Волианик М. А. Таммовские состояния при контакте фотонного кристалла со слоем полярной жидкости.....</i>	<i>219</i>
<i>Смирнов Ю. Г. О распространении нелинейных связанных поверхностных те и вытекающих тм электромагнитных волн в круглом металлодиэлектрическом волноводе</i>	<i>221</i>
<i>Бобрешов А. М., Нескородов С. Е., Смусева К. В., Усков Г. К. Измерение характеристик излучателя в условиях переотражений</i>	<i>223</i>
<i>Солдатов А. А. Проектирование плоской спиральной антенны</i>	<i>225</i>
<i>Солдатов А. А., Еремин А. А., Титоренко Ю. В. Волноводный метод измерения диэлектрической проницаемости</i>	<i>227</i>
<i>Солдатов А. А., Филимонова Л. Н. Двухмодовая антенна на основе открытого намагниченного ферритового резонатора цилиндрической формы</i>	<i>229</i>
<i>Табakov Д. П., Аль-Нозайли Б. М. А. Решение внутренней электродинамической задачи для директорной антенны на основе интегрального представления электромагнитного поля.....</i>	<i>231</i>
<i>Табakov Д. П., Малахов М. А. Модифицированный плоский спиральный излучатель с дополнительным замедлением</i>	<i>233</i>

<i>Табакон Д. П., Кураков В. А. Электромагнитное представление плоской многозаходной спиральной антенны</i>	235
<i>Фархутдинов Р. В., Насыбуллин А. Р., Шакиров Р. Ф. Полуоткрытые коаксиальные брегговские СВЧ структуры</i>	237
<i>Чернышева А. Ю., Насыбуллин А. Р. СВЧ-датчик на основе двухчастотного планарного резонатора</i>	239
<i>Шакиров Р. Ф., Насыбуллин А. Р. Полосковый СВЧ датчик для контроля полимеризации композита</i>	241
<i>Шаронов Д. Е. Частотно-селективные поверхности. Развитие и применение.....</i>	243
СЕКЦИЯ 5. ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ.....	245
<i>Андреев В. Д., Морозов О. Г., Казаров В. Ю. Принцип устройства фотонной двухмерной решетки L-образных антенн</i>	246
<i>Шабанов Д. Д., Гайдук А. Е. Возможности применения искусственного интеллекта и нейросетей в маркетинге</i>	248
<i>Денисенко Е. П. Радиофотонный модуль определения угла прихода радиолокационного сигнала</i>	250
<i>Денисенко Е. П., Денисенко П. Е., Андреев В. Д., Тетерин А. А. Определение угла прихода на радиофотонной многоканальной приемной системе ионозонда</i>	252
<i>Иваев М. И., Казакова К. С. Инновационный менеджмент в сфере услуг</i>	254
<i>Иваев М. И., Испулов В. Р. Актуальность и специфика проведения аудита веб-сайта</i>	256
<i>Казакова М. С., Иваев М. И. Механизмы геймификации как элемент привлечения абитуриентов в ВУЗ</i>	258
<i>Кудряшов А. А., Гузь А. Р. Проблемы безопасности платежей в эпс на примере юмани</i>	260
<i>Кудряшов А. А. Элементы цифровой экосистемы ВУЗА.....</i>	262
<i>Полянский И. С., Логинов К. О. Анализ способов формирования информационного воздействия на электорат при организации</i>	

информационно-аналитического сопровождения выборных кампаний.....	264
СЕКЦИЯ 6. ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ.....	266
<i>Вороной А. А., Демидов Р. С., Патикин С. С.</i> Амплитуда опорного напряжения импульсного стабилизатора напряжения понижающего типа.....	267
<i>Вороной А. А., Стрюков Д. М., Ушмодин В. А.</i> Электропитание в системах технических средств охраны и их подтипов	269
<i>Дмитриев Б. Ф., Галушин С. Я., Балицкая К. В., Корнев А. С.</i> Повышение эффективности судовых электроэнергетических с применением преобразователей частоты с устройством компенсации неактивной мощности.....	271
<i>Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В., Петrochenко А. Ю., Караев Ф. Ш.</i> Исследование влияния паразитных параметров дросселей и конденсаторов, заземления, эквивалента сети и источника питания на ослабление ФРП.....	274
<i>Дмитриков В. Ф., Шушпанов Д. В., Петrochenко А. Ю., Караев Ф. Ш.</i> Проектирование силовых сглаживающих фильтров ипн с резистивной или комплексной, статической или импульсной нагрузкой.....	276
<i>Артемасов А. С., Вороной А. А., Нечухраный А. Е.</i> Расчет цепей коррекции входного фильтра ИИЭ	278

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Алиев Д. С., 141
Аль-Нозайли Б. М. А., 231
Андреев В. Д., 246, 252
Андреянов М. В., 80
Антипова Т. А., 10, 12, 14
Арефьев А. С., 95
Артемасов А. С., 278
Артюшенко В. М., 125, 127
Афанасьев В. В., 82
Афонин И. Л., 84, 203, 209, 211

Б

Бажанова О. В., 97
Балицкая К. В., 271
Безлюдников К. О., 16
Безруков Д. Е., 147
Безус Е. А., 33
Бирюков В. В., 62, 80, 99
Бисярин М. Н., 62, 99
Бобрешов А. М., 97, 223
Богданова Е. И., 35
Богословский А. В., 101, 103
Бондарь П. И., 107
Бударагин Р. В., 105, 213, 215
Бузов А. Л., 107, 109, 111
Бузова М. А., 109, 113
Булыга Д. В., 53
Бучнев И.Ю., 43
Быков Д. А., 33
Былина М. С., 64

В

Валиуллин Р. М., 173, 175, 177
Валовик Д. В., 22
Вальяров М. Э., 115, 117
Васильев А. Д., 119
Васильев Е. В., 183

Веденькин Д. А., 121, 123, 207
Веревкина К. Ю., 24
Воловач В. И., 125, 127
Волишаник М. А., 219
Вороной А. А., 267, 269, 278

Г

Гайдук А. Е., 248
Гайнутдинов А. М., 129
Галимзянов Р. Э., 131
Галушин С. Я., 271
Гаманова М. А., 133, 135, 137
Глаголев С. Ф., 64
Головастиков Н. В., 33
Головин В. В., 209, 211
Головкина М. В., 35, 37
Голубцов А. В., 179
Голяткин В. Р., 205
Григорьев Д. П., 66
Григорян А. А., 26
Громоздин В. В., 203, 209, 211
Гузь А. Р., 260

Д

Давыдова В. С., 39
Дегтярев А. Н., 84
Демидов А. В., 133, 135, 137
Демидов Р. С., 267
Денисенко Е. П., 250, 252
Денисенко П. Е., 252
Дмитриев Б. Ф., 271
Дмитриков В. Ф., 274, 276
Досколович Л. Л., 33
Дудкин М. И., 151

Е

Евстропьев С. К., 53
Едоков Д. С., 62, 99
Еремин А. А., 227

Ефимов В. А., 139

З

Завалишина О. Н., 97

Зайцев В. В., 30

Захаров В. С., 157

И

Иваев М. И., 254, 256, 258

Иванов А. В., 141, 143, 145

Ивахник В. В., 6

Иконников В. Н., 147

Илларионов И. А., 149, 151

Испулов В. Р., 256

Ишкаев Т. М., 153, 155

К

Казакова К. С., 254

Казакова М. С., 258

Казаров В. Ю., 246

Капизов Д. Р., 6

Капустин С. А., 68

Караев Ф. Ш., 274, 276

Карлов А. В., 30, 113

Кирпичникова М. Ю., 70, 72

Киселев Д. И., 105

Клюев Д. С., 133, 135, 137, 157

Козуб М. С., 84

Кольчугин Ю. И., 111

Комаров А. А., 217

Копылов Д. А., 159

Коркина А. Р., 161

Корнев А. С., 271

Корнев Н. С., 147

Корицунов С. А., 163

Котков К. В., 107

Красильников А. Д., 113

Кувшинов Н. Е., 165, 167

Кудряшов А. А., 260, 262

Кузнецов Я. М., 51

Куляс О. Л., 78

Кураков В. А., 235

Л

Лиманова А. И., 41

Лискович А. П., 80

Логинов К. О., 264

Ложкин Л. Д., 74, 76

Лошкарев А. С., 78

Лукина Д. Д., 70

М

Майоров А. Г., 169, 171, 173, 175,
177

Макарычев Н. А., 88, 147, 179

Малахов В. А., 62, 80, 99

Малахов М. А., 233

Мартынова В. Ю., 8

Марьевский С. В., 179

Мачихин В. А., 10, 12, 14

Минкин М. А., 107

Мисбахов Р. Ш., 167

Михалицын Е. А., 181

Моргачев Ю. В., 90, 92

Морковский А. Д., 53

Морозов О. Г., 246

Морозов С. В., 183, 185, 187

Моторко А. И., 111

Мошков Н. Д., 185

Мясников Д. Л., 74, 76

Н

Назаренко П. А., 78

Назаров А. В., 88, 147, 179

Нарышкин И. М., 107

Насыбуллин А. Р., 115, 117

Насыбуллин А. Р., 139, 153, 155,
161, 195, 237, 239, 241

Нескородов С. Е., 223

Нестеров В. И., 189

Нечаев Ю. Б., 201
Нечухраний А. Е., 278
Нещерет А. М., 191, 193
Никитин К. А., 78
Николаев В. И., 143, 145
Никольская Ю. В., 14
Никонов В. И., 6
Носов Н. А., 109

О

Осипов О. В., 47
Осипов О. В., 39, 41, 43, 45, 49, 55,
 59
Османов Р. Р., 88

П

Павлов В. В., 195
Панин Д. Н., 16, 51, 197
Пастернак Ю. Г., 141, 143, 145
Пастикин С. С., 267
Пашин С. С., 53
Пендюрин В. А., 141, 143, 145
Пестовский И. Н., 199
Пестовский К. И., 113
Петропавловский В. М., 37
Петроченко А. Ю., 274, 276
Пешков И. В., 201
Пикулев А. Н., 131
Пименова С. А., 55
Пичугина П. Г., 14
Поляков А. Л., 203
Поляков В. А., 14
Полянский И. С., 18, 205, 264
Пономарев Д. В., 217, 219
Потапова И. И., 28
Потапова О. В., 207
Приходько Д. В., 105
Проценко М. Б., 203, 209, 211

Р

Радиоонов А. А., 213
Раевский А. С., 68, 80
Разиньков С. Н., 101, 103
Раупов Р. Р., 82
Рогова Н. В., 57
Рыбаков Д. К., 88

С

Сагдиева А. Р., 121, 123
Саласенко З. Ю., 213, 215
Самигуллин Р. Р., 195
Седельников Ю. Е., 207
Семенов А. Б., 64
Сивков В. С., 78
Скрипаль А. В., 217, 219
Смирнов Ю. Г., 221
Смолькин Е. Ю., 20
Смусева К. В., 223
Снегур М. О., 20
Соколова Ю. В., 157
Солдатов А. А., 225, 227, 229
Степанов Д. Е., 18
Степкин В. А., 97
Степура А. В., 115
Степура А. В., 117
Стрюков Д. М., 269
Сурков И. С., 187

Т

Табаков Д. П., 14, 169, 171, 173,
 175, 177, 231, 233, 235
Телегин А. М., 66
Тетерин А. А., 252
Титов К. Д., 97
Титоренко Ю. В., 227
Тихов С. В., 22
Тихомирова А. А., 197
Трегубенко Д. А., 147
Троицкая М. К., 45, 47, 49

Тыщук Ю. Н., 84
Тяжеев А. И., 86

У

Усков Г. К., 97, 223
Устинова Е. С., 125
Ушмодин В. А., 269

Ф

Фархутдинов Р. В., 139, 161, 237
Филимонова Л. Н., 229
Фролов А. О., 133, 135, 137

Ц

Царев Б. Ю., 88
Цилимбаев Н. А., 59

Ч

Чарочкина Д. О., 215
Черевко А. Г., 90, 92

Чернышева А. Ю., 239
Чесноков Е. С., 141

Ш

Шабанов Д. Д., 248
Шакиров Р. Ф., 153
Шакиров Р. Ф., 155, 237, 241
Шаронов В. Е., 217
Шаронов Д. Е., 243
Шляхов А. В., 109
Шушпанов Д. В., 274, 276

Щ

Щекатурин А. А., 209, 211
Щербakov В. В., 62, 99
Щербовских Е. С., 72

Я

Яцышен В. В., 24, 26, 28

ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ-2021

ХІХ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Самара, 23 – 26 ноября 2021 г.

Статьи воспроизводятся с оригиналов, представленных авторами, и
Издатель не несет ответственности за содержание статей.

Ответственный секретарь: Клюев Д.С.

Ответственный за выпуск: Осипов О.В.

Компьютерная верстка: Филимонова Л.Н.

Подписано в печать 22.11.2021

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 17,26.

Тираж 100.

Издательство Поволжского государственного университета
телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ)

443090, Самара, Московское шоссе 77

