



II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2017

XV Международная
научно-техническая конференция

ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

МАТЕРИАЛЫ ФОРУМА



20 – 24 ноября 2017 г., Казань

Российская академия наук
Министерство науки и образования РФ
Министерство связи и массовых коммуникаций РФ
Министерство информации и связи Республики Татарстан
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН
Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ
Радиоастрономический институт Национальной академии наук Украины
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королёва
Уфимский государственный авиационный технический университет
Саратовский государственный университет
ФГУП ФНИПЦ «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова»
Редколлегия журнала «Физика волновых процессов и радиотехнические системы»
ОАО «Таттелеком»
Международная академия связи

*Посвящается
85-летнему юбилею КНИТУ-КАИ,
65-летнему юбилею ИРЭТ (РТФ)*

II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ: ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2017

ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ФиТПВП-2017

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Казань, 20 – 24 ноября 2017 г.

Казань 2017

УДК 537.8 (063)

ББК 22.336я431

Н 34

Н 34 **II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ:
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ТТТ-2017. Физика и техниче-
ские приложения волновых процессов ФиТПВП-2017:** мате-
риалы XV Международной научно-технической конференции
«Физика волновых процессов и радиотехнические системы».
Казань, 20 – 24 ноября 2017 года / под ред. О.И. Антипова. –
Казань: КНИТУ-КАИ, 2017. – 304 с.

ISBN 978-5-7579-2257-7 (отд.кн.)

ISBN 978-5-7579-2251-5

Сборник содержит материалы докладов по наиболее актуальным про-
блемам современной физики волновых процессов и их техническим прило-
жениям в СВЧ, КВЧ и оптическом диапазонах. Среди них: общая теория вол-
новых процессов, электродинамика и техника СВЧ и КВЧ, передача и обра-
ботка информации в радиотехнических системах, электродинамика и техника
искусственных сред, СВЧ и КВЧ-техника в промышленности и на транспор-
те, оптические сети связи и их компоненты, фракталы и детерминированный
хаос, активные и нелинейные устройства, антенны, линии передачи с неодно-
родными анизотропными, киральными и нелинейными средами.

*Конференция проведена при поддержке РФФИ (грант № 17-02-20556\17)
на базе ФБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский техниче-
ский университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (Татарстан, г. Казань, 20-24 нояб-
ря 2017 г.).*

Редакционная коллегия: Антипов О.И., д. ф.-м. н. (Самара); Табаков Д.П.,
д.ф.-м.н. (Самара); Ключев Д.С., д.ф.-м.н.(Самара); Осипов О.В. д.ф.-м.н. (Самара);

Ответственный секретарь оргкомитета: Майоров А.Г. (Самара)

ISBN 978-5-7579-2257-7 (отд.кн.)
ISBN 978-5-7579-2251-5

© Физика волновых процессов
и радиотехнические системы, 2017
© Изд-во КНИТУ-КАИ, 2017

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Почетный президент:

Неганов В.А., д.ф.-м.н., проф., заслуженный работник высшей школы РФ (Самара);

Президент:

Гильмутдинов А.Х., д. ф.-м.н., действительный член академии Республики Татарстан, ректор Казанского национального исследовательского технического университета им. А. Н. Туполева (Казань);

Вице-президенты:

Литвиненко Л.Н., д.ф.-м.н., директор РИ НАНУ, академик НАНУ (Харьков);

Раевский С.Б., д.т.н., проф., заслуженный деятель науки РФ (Нижний Новгород);

Председатель:

Антипов О.И., д.ф.-м. н. (Самара)

Зам. председателя:

Морозов О.Г., д.т.н., проф.,заслуженный работник высшей школы Республики Татарстан, директор НИИ Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем (Казань)

Члены оргкомитета:

Бурдин В.А., д.т.н. (Самара);

Бобрешов А.М., д.ф.-м. н. (Воронеж);

Горячкин О.В., д.т. н. (Самара);

Данилаев М.П., д.т. н. (Казань);

Ильин Г.И., д.т.н. (Казань);

Клюев Д.С., д.ф.-м.н. (Самара);

Митрохин В.Н., д.т.н. (Москва);

Морозов Г.А., д.т.н. (Казань);

Онищук А.Г., д.т.н. (Минск);

Панченко Б.А., д.т.н. (Екатеринбург);
Просвирнин С.Л., д.т.н. (Харьков);
Раевский А.С., д.т.н. (Нижний Новгород);

Ученый секретарь:

Веденькин Д.А., д.т.н. (Казань);

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Председатель:

Никитов С.А., член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н., проф., директор Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Москва);

Заместители председателя:

Дмитриков В.Ф., д.т.н., проф., заслуженный деятель науки РФ (Санкт-Петербург);

Ильин Г.И., д.т.н., проф., заслуженный деятель науки РФ (Казань);

Козлов В.А., д.т.н., проф. (Нижний Новгород);

Морозов Г.А., д.т.н., проф., заслуженный работник высшей школы РФ (Казань);

Надеев А.Ф., д.ф.-м.н., член-корреспондент академии Республики Татарстан, директор ИРЭТ КНИТУ-КАИ (Казань);

Члены программного комитета:

Польский Ю.Е., д.ф.-м.н. (Казань);

Пономарев Л.И., д.т.н. (Москва);

Потапов А.А., д.ф.-м.н. (Москва);

Разиньков С.Н., д.т.н. (Воронеж);

Седельников Ю.Е., д.т.н. (Казань);

Табаков Д.П., д.ф.-м.н. (Самара);

Усанов Д.А., д.ф.-м.н. (Саратов);

Чабдаров Ш.М., д.т.н. (Казань);

Шафигуллин Л.Н., ПАО «Таттелеком» (Казань);

Секретарь программного комитета:

Майоров А.Г. (Самара)

СЕКЦИИ КОНФЕРЕНЦИИ

Секция 1. Общая теория волновых процессов

Сопредседатели:

Яцышен В.В. д.т.н. (Волгоград);

Раевский С.Б. д.т.н. (Нижний Новгород);

Табаков Д.П. д.ф.-м.н. (Самара).

Секция 2. Передача и обработка информации в радиотехнических системах

Сопредседатели: Воловач В.И. д.т.н. (Тольятти);

Ильин Г.И. д.т.н. (Казань);

Захарченко В.Д. д.т.н. (Волгоград);

Пономарев Л.И. д.т.н. (Москва).

Секция 3. Антенно-фидерные системы и распространение радиоволн

Сопредседатели: Ключев Д.С. д.ф.-м.н. (Самара);

Разиньков С.Н. д.ф.-м.н. (Воронеж);

Седельников Ю.Е. д.т.н. (Казань).

Секция 4. Фракталы и детерминированный хаос

Сопредседатели:

Потапов А.А. д.ф.-м.н. (Москва);

Антипов О.И. д.ф.-м.н. (Самара);

Афанасьев В.В. д.т.н. (Казань).

Секция 5. Устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов и их приложение

Сопредседатели:

Бобрешов А.М. д.ф.-м.н. (Воронеж);

Усанов Д.А. д.ф.-м.н. (Саратов);

Морозов Г.А. д.т.н. (Казань);
Радионов А.А. д.т.н. (Нижний Новгород).

Секция 6. Мета- и наноструктуры

Сопредседатели:

Осипов О.В. д.ф.-м.н. (Самара);
Шатров А.Д. д.ф.-м.н. (Москва);
Данилаев М.П. д.т.н. (Казань).

Секция 7. Волновые процессы в биологии и медицине

Сопредседатели:

Антипов О.И. д.ф.-м.н. (Самара);
Щербакова Т.Ф. к.т.н. (Казань);
Аглиуллин А.Ф. к.т.н. (Казань)

Секция 8. Оптические сети связи и радиофотоника

Сопредседатели:

Бурдин В.А. д.т.н. (Самара);
Морозов О.Г. д.т.н. (Казань);
Раевский А.С. д.ф.-м.н. (Нижний Новгород);
Султанов А.Х. д.т.н. (Уфа)

Секция 9. Устройства и системы электропитания

Сопредседатели:

Дмитриков В.Ф. д.т.н. (Санкт-Петербург);
Евдокимов Ю.К. д.т.н. (Казань);
Лукин А.В. д.т.н. (Москва)

СЕКЦИЯ 1. ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Сопредседатели: Яцышен В.В. д.т.н. (Волгоград);

Раевский С.Б., д.т.н. (Нижний Новгород);

Табаков Д.П. д.ф.-м.н. (Самара).

УДК 530.1

ГАМИЛЬТОНОВ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НЕОДНОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР СОЛИТОННОГО ТИПА

Белашов В.Ю., Белашова Е.С.

(Казанский федеральный университет,

Казанский национальный исследовательский

технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ)

В настоящей работе будем рассматривать аналитические подходы к изучению проблемы устойчивости неодномерных солитонов и нелинейных волновых пакетов, которые описываются классом уравнений Белашова-Карпмана (БК):

$$\partial_t u + A(t, u)u = f, \quad f = \kappa \int_{-\infty}^x \Delta_{\perp} u dx, \quad \Delta_{\perp} = \partial_y^2 + \partial_z^2, \quad (1)$$

где в случае, когда $A(t, u) = \alpha u \partial_x - \partial_x^2 (v - \beta \partial_x - \gamma \partial_x^3)$, имеем обобщенное уравнение Кадомцева-Петвиашвили (ОКП), которое при $\beta \equiv 4\pi nT / B^2 \ll 1$ и $\omega < \omega_B = eB / Mc$, $k\lambda_D \ll 1$ описывает распространение быстрых магнитозвуковых (БМЗ) волн в замагниченной плазме с $k_x^2 \gg k_{\perp}^2$, $v_x \ll c_A$ вблизи конуса углов $\theta = \arctan (M / m)^{1/2}$. При этом функция u имеет смысл безразмерной амплитуды магнитного поля волны, $h = B_{\sim} / B$, коэффициенты определяются значениями параметров плазмы и углом $\theta = (\mathbf{B}, \mathbf{k})$.

Если же $A(t, u) = 3s |p|^2 u^2 \partial_x - \partial_x^2 (i\lambda + v)$, (1) переходит в 3-мерное (3D) уравнение Шредингера с производной нелинейного члена (3-DNLS), которое при $\beta > 1$ описывает динамику альфвеновских волн, распространяющихся в направлении, близком к $\mathbf{B}$, $u = h = (B_y + iB_z) / 2B |1 - \beta|$, $\mathbf{h} = \mathbf{B}_{\perp} / B_0$, где $p = (1 + ie)$, а e –

эксцентриситет эллипса поляризации волны. Верхний и нижний знаки $\lambda = \pm 1$ отвечают волне с круговой правой и левой поляризацией соответственно, знак нелинейности учитывается коэффициентом $s = \text{sgn}(1 - p) = \pm 1$ при нелинейном члене; $\kappa = -r_A / 2$, $r_A = v_A / \omega_{0i}$.

Уравнения (1) не являются в общем случае полностью интегрируемыми, и вопрос существования неодномерных солитонных (устойчивых) их решений требует специального исследования. Рассмотрим этот вопрос отдельно для уравнений ОКП и 3-DNLS.

Уравнение ОКП. Полагая, что диссипация в среде отсутствует ($\nu=0$), запишем уравнение ОКП в гамильтоновском виде

$$\partial_t u = \partial_x (\delta H / \delta u) \quad (2)$$

С гамильтонианом $H = \int [-(\varepsilon/2)(\partial_x u)^2 + (\lambda/2)(\partial_x^2 u)^2 + (\nabla_\perp \partial_x v)^2 / 2 - u^3] d\mathbf{r}$,

где $\partial_x^2 v = u$, $\varepsilon = \beta |\gamma|^{-1/2}$, $\lambda = \text{sgn } \gamma$. Стационарные решения уравнения (2) определяются из вариационной задачи $\delta (H + v P_x) = 0$ ($P_x = (1/2) \int u^2 d\mathbf{r}$ – проекция импульса на ось x ; v имеет смысл множителя Лагранжа), которая иллюстрирует тот факт, что все финитные решения уравнения (2) являются стационарными точками гамильтониана при фиксированном P_x . Согласно теореме Ляпунова, в динамической системе абсолютно устойчивыми будут те стационарные точки, которые реализуют минимум или максимум H . Если данный экстремум является локальным, то возможны локально устойчивые решения. Неустойчивые состояния соответствуют монотонной зависимости H от своих переменных, т.е. случаям, когда стационарная точка является седловой. Таким образом, требуется доказать ограниченность H (снизу) при фиксированном P_x .

Рассмотрим в действительном векторном пространстве R масштабные преобразования вида $u(x, \mathbf{r}_\perp) \rightarrow \zeta^{-1/2} \eta^{(1-d)/2} u(x/\zeta, \mathbf{r}_\perp/\eta)$ (d – размерность задачи; $\zeta, \eta \in R$), сохраняющие проекцию

импульса P_x . Гамильтониан как функция параметров ζ, η примет вид

$$H(\zeta, \eta) = a\zeta^{-2} + b\zeta^2\eta^{-2} - c\zeta^{-1/2}\eta^{(1-d)/2} + e\zeta^{-4}, \quad (3)$$

где $a = -(\varepsilon/2) \int (\partial_x u)^2 d\mathbf{r}$, $b = (1/2) \int (\nabla_{\perp} \partial_x v)^2 d\mathbf{r}$, $c = \int u^3 d\mathbf{r}$, $e = (\lambda/2) \int (\partial_x^2 u)^2 d\mathbf{r}$.

Решая совместно системы уравнений, представляющих собой необходимые условия существования экстремума гамильтониана, и системы неравенств, имеющих смысл достаточных условий существования локального минимума H для $d = 2, 3$, получим следующие результаты. В 2D случае при $\lambda = 1, \varepsilon \leq 0$ гамильтониан при фиксированном P_x ограничен снизу и, следовательно, 2D решения абсолютно устойчивы, т.е. представляют собой 2D солитоны уравнения ОКП. В случаях $\lambda = 1, \varepsilon > 0$ и $\lambda = -1, \varepsilon < 0$ гамильтониан имеет локальные минимумы, и уравнение (2) может иметь локально устойчивые (солитонные) решения для некоторых значений параметров. Все остальные случаи отвечают неустойчивым 2D решениям.

В 3D случае решение соответствующей системы уравнений и неравенств позволяет установить, что абсолютно устойчивые 3D решения (3D солитоны уравнения ОКП) будут существовать при $\lambda = 1, \varepsilon > 0$, а локально устойчивые – при $\lambda = 1, \varepsilon \leq 0$, если удовлетворяется условие $ab^2e/c^4 < 9/512$ на интегральные коэффициенты гамильтониана (3). Это весьма примечательный факт, что уравнение ОКП, в отличие от обычного уравнения КП, может иметь устойчивые 3D солитонные решения. Приложение этого анализа к задаче распространения 3D пучка БМЗ волн в замагниченной плазме позволяет нам, например, доказать, что такой пучок, распространяющийся под углом θ к магнитному полю, не фокусируется и становится стационарным и устойчивым в конусе углов $\theta < \arctan(M/m)^{1/2}$, если выполняется условие $(m/M - \cot^2 \theta)^2 [\cot^4 \theta (1 + \cot^2 \theta)]^{-1} > 4/3$. Отметим также, что полученные нами результаты дают возможность корректной интерпретации наших результатов по динамике солитонов ВГВ, возбуждаемых на высотах F-слоя ионосферы источниками

импульсного типа.

Уравнение 3-DNLS. Аналогичный подход для уравнения 3-DNLS, записанного, при формальной замене $u \rightarrow h$ в форме (2) с гамильтонианом

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{2} |h|^4 + \lambda shh^* \partial_x \phi + \frac{1}{2} \kappa \left(\nabla_{\perp} \partial_x w \right)^2 \right] d\mathbf{r}, \quad \partial_x^2 w = h, \quad \phi = \arg(h), \quad (4)$$

приводит при анализе деформаций $H(\zeta, \eta) = a\zeta^{-1}\eta^{-2} + b\zeta^{-1} + c\zeta^2\eta^{-2}$, сохраняющих проекцию импульса $P_x = \frac{1}{2} \int |h|^2 d\mathbf{r}$, к аналогу выражения (3): $H(\zeta, \eta) = a\zeta^{-1}\eta^{-2} + b\zeta^{-1} + c\zeta^2\eta^{-2}$, где $a = (1/2) \int |h|^4 d\mathbf{r}$, $b = \lambda s \int hh^* \partial_x \phi d\mathbf{r}$, $c = (\sigma/2) \int (\nabla_{\perp} \partial_x w)^2 d\mathbf{r}$. Решение задачи устойчивости приводит, при этом, к следующему результату. Гамильтониан (4) ограничен снизу:

$$H > -3bd / (1 + 2d^2), \quad b < 0, \quad (5)$$

если выполняется условие $ac^{-1} < d = (2\sqrt{2})^{-1} \sqrt{13 + \sqrt{185}}$, и в этом случае 3D решения уравнения 3-DNLS устойчивы, в противоположном же случае, $ac^{-1} \geq d$, $b < 0$, – неустойчивы. Условие $b < 0$ отвечает волне с правой круговой поляризацией, распространяющейся в плазме с $p = 4\pi nT / B^2 > 1$, т.е. когда $\lambda = 1$, $s = -1$ в уравнениях (2), (4), и с левой поляризацией, когда $\lambda = -1$, $s = 1$. Однако, необходимо отметить, что смена знака $\lambda = 1 \rightarrow -1$, $s = -1 \rightarrow 1$ эквивалентна замене $t \rightarrow -t$, $\kappa \rightarrow -\kappa$ и для отрицательных κ гамильтониан становится отрицательным в области, занимаемой 3D волной, слабо ограниченной в направлении $\mathbf{k}_{\perp}$, в этом случае условие (5) уже не выполняется. Смена знака b на положительный [когда $\lambda = 1$, $s = 1$ или $\lambda = -1$, $s = -1$ в (2), (4)] эквивалентно аналитическому продолжению решения с действительных u, z на чисто мнимые: $u \rightarrow -iu$, $z \rightarrow -iz$ и, следовательно, смене знака κ в основных уравнениях. В этом случае условие устойчивости будет определяться неравенством типа (5), но с противоположным знаком. С физической точки зрения это означает, что если такое

условие будет выполняться, правополяризованные волны с положительной нелинейностью и левополяризованные волны с отрицательной нелинейностью будут устойчивыми.

Итак, анализ трансформационных свойств гамильтониана уравнения 3-DNLS позволил нам установить области значений коэффициентов уравнения и значения гамильтониана (который имеет смысл энергии системы), отвечающие устойчивым и неустойчивым 3D решениям.

HAMILTONIAN ANALYSIS OF STABILITY OF MULTIDIMENSIONAL NONLINEAR WAVE STRUCTURES OF SOLITON TYPE

Belashov V.Yu., Belashova E.S.

(Kazan Federal University,

Kazan National Research Technical

University named after A N. Tupolev – KAI)

The stability of two-dimensional and three-dimensional solitons and nonlinear wave packets which are described by the Kadomtsev-Petviashvili and DNLS equations classes is analytically studied on the basis of Hamiltonian approach. The sufficient conditions of stability of the solutions are formulated on the basis of the analysis of the transformational properties of the Hamiltonians.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ОБЪЕМНЫЕ МОДЫ В ВОЛНОВОДНОЙ СТРУКТУРЕ «ГРАФЕН- ДИЭЛЕКТРИК-ГРАФЕН-ДИЭЛЕКТРИК-ГРАФЕН»

Евсеев Д.А., Семенцов Д.И.

(ФГБОУ Ульяновский Государственный Университет)

В работе исследуются особенности распространения объемных и поверхностных ТЕ и ТМ мод в волноводной структуре, которая состоит из двух слоев диэлектрика ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$) толщиной $d_1 = d_2 = d$, расположенных между тремя слоями графена с проводимостью σ [1]. Предполагается, что толщина графеновых слоев равна нулю и их наличие сказывается только на

типе граничных условий. Структура располагается между прозрачными подложкой (ε_s) и покровным слоем (ε_c). Волна распространяется вдоль оси Ox , все компоненты волнового поля пропорциональны множителю $\exp[i(\omega t - \beta x)]$. Вне волновода все поля экспоненциально затухают. Так, для профиля поля ТЕ моды можно записать:

$$E_y(z) = \begin{cases} A_1 \exp(q_c z), & z < 0 \\ A_2 \cosh(q_1 z) + A_3 \sinh(q_1 z), & 0 < z < d \\ A_4 \cosh(q_2 z) + A_5 \sinh(q_2 z), & d < z < 2d \\ A_6 \exp(-q_s z), & 2d < z \end{cases}, \quad H_x(z) = \frac{1}{ik_0} \frac{\partial E_y}{\partial z}, \quad (1)$$

где $q_j = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 \varepsilon_j}$ - поперечная компонента волнового вектора в каждой из сред, $k_0 = \omega / c$, A_i находятся из граничных условий для волновых полей с учетом тока на границах раздела сред:

$$\begin{aligned} E_{y1} &= E_{yc}, \quad H_{x1} = H_{xc} + (4\pi\sigma / c)E_{yc}, \\ E_{y2} &= E_{y1}, \quad H_{x2} = H_{x1} + (4\pi\sigma / c)E_{y1}, \\ E_{ys} &= E_{y2}, \quad H_{xs} = H_{x2} + (4\pi\sigma / c)E_{y2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Решение граничной задачи позволяет записать связь амплитуд полей на внешних границах волновода:

$$\begin{bmatrix} E_{ys}(d) \\ H_{xs}(d) \end{bmatrix} = \hat{N}_\sigma \hat{N}_2 \hat{N}_1 \begin{bmatrix} E_{yc}(0) \\ H_{xc}(0) \end{bmatrix},$$

где матрицы передачи границы и j -ого слоя имеют вид

$$\hat{N}_\sigma = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 4\pi\sigma / c & 1 \end{bmatrix}, \quad N_j = \begin{bmatrix} \cosh(q_j d_j) + \frac{4\pi\sigma}{c} \frac{ik_0}{q_j} \sinh(q_j d_j) & \frac{ik_0}{q_j} \sinh(q_j d_j) \\ \frac{q_j}{ik_0} \sinh(q_j d_j) + \frac{4\pi\sigma}{c} \cosh(q_j d_j) & \cosh(q_j d_j) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Учитывая связь полей $E_{yj}(z)$ и $H_{xj}(z)$, приходим к дисперсионному соотношению для ТЕ моды:

$$q_s m_{11} + q_c m_{22} + i k_0 m_{21} - i(q_s q_c / k_0) m_{12} = 0, \quad (4)$$

где m_{ab} - элементы матрицы $\hat{M} = \hat{N}_2 \hat{N}_1$ для ТЕ поляризации. Используя аналогичный алгоритм для ТМ поляризации можно прийти к аналогичному дисперсионному соотношению.

$$(q_s / \varepsilon_s) m_{11} + m_{22} (q_c / \varepsilon_c) + i k_0 m_{21} - i (q_s q_c / k_0 \varepsilon_c \varepsilon_s) m_{12} = 0, \quad (5)$$

где m_{ab} - элементы матрицы $\hat{M}$ для ТМ поляризации. На рис. 1 представлены частотные зависимости константы распространения ТЕ и ТМ волн для двухслойной структуры толщиной $d = 5 \text{ nm}$. Диэлектрическая проницаемость слоев одинакова и равна $\varepsilon = 2.25$, волновод находится в вакууме, т.е. $\varepsilon_s = \varepsilon_c = 1$. Сплошные кривые показывают частотную зависимость для симметричного случая с тремя слоями графена, один из которых находится по центру, два других на внешних границах волновода. Пунктирные кривые обозначает решение при отсутствии всех графеновых слоев.

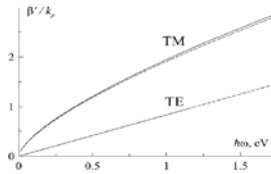


Рис. 1. Закон дисперсии ТЕ и ТМ волны.

На рис. 2 приведено распределение по сечению волновода нормированных электрического поля и продольной составляющей потока энергии S_x / S_0 (где $S_0 = c |E_0|^2 / 4\pi$, $E_0 = 10^{-11} \text{ СГСЭ}$) ТЕ моды. Номерам кривых 1-4 соответствуют частоты $\omega = 1.31 \cdot n \cdot 10^{13} \text{ с}^{-1}$, где $n=1,2,3,4$. Сплошные кривые относятся к решению с тремя графеновыми слоями (один в центре и два по краям), пунктирные – к решению без графеновых слоев.

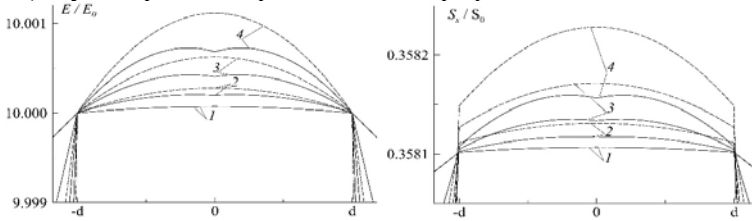


Рис. 2. Распределение электрического поля и плотности потока энергии ТЕ волны в структуре.

Из приведенных зависимостей следует, что наличие графеновых слоев приводит к образованию в центре структуры

минимума электрического поля E_y и потока S_x / S_0 для волны ТЕ поляризации. Для ТМ поляризации наличие графеновых слоев приводит к скачку величины S_x / S_0 на слоях графена, вызванный токами вдоль проводящих слоев. Для обеих поляризаций наблюдается уменьшение плотности потока энергии внутри волновода по модулю.

Работа поддержана Российским научным фондом (проект №17-72-10135).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L.A. Falkovsky, S.S. Pershoguba, Phys. Rev. B. 76, 153410 (2007).

SURFACE AND VOLUME MODES IN THE WAVEGUIDE STRUCTURE "GRAPHENE-DIELECTRIC-GRAPHENE- DIELECTRIC-GRAPHENE"

Evseev D.A., Sementsov D.I.

(Ulyanovsk State University)

The thesis presents the solution of the boundary value problem for a waveguide structure. The waveguide structure consists of two dielectrics ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$) of arbitrary thickness ($d_1 = d_2 = d$) and has three leading boundaries. As a conductor, graphene is used. The waveguide is bounded by a cover layer (ε_c) and an infinite substrate (ε_s). Generally, dispersion relations are obtained for the surface modes of the TE and TM polarizations. The presence of graphene in the middle of the structure causes a distortion of the electric field profile and the energy flux density along the structure.

УДК 551.506.8

К ТЕОРИИ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Абдульманов Ш.Р., Ильин Г. И.

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

Квазигармонические колебания находят широкое применение на практике. Основным свойством квазигармонических колебаний является выполнение условия того, что ширина спектра колебания намного меньше средней частоты

квазигармонического колебания. Наиболее изученными квазигармоническими колебаниями являются сигналы биений двух гармонических колебаний и амплитудно-модулированные сигналы. В данной работе рассмотрим квазигармоническое колебание, состоящее из суперпозиции гармонических компонент, имеющих одинаковую амплитуду и частоты равномерно расположенные в некотором узком частотном диапазоне [3].

$$\begin{aligned}\xi(t) = & A \cos \omega_1 t + A \cos(\omega_1 + \delta\omega)t + \dots, \\ & + A \cos(\omega_1 + \delta\omega(N-1))t + A \cos \omega_2 t\end{aligned}\quad (1)$$

где $\delta\omega$ - частота, на которую отличаются две соседние компоненты:

$$\delta\omega \equiv \frac{\omega_2 - \omega_1}{N-1} = \frac{\Delta\omega}{N-1}. \quad (2)$$

Выражение (1) может быть представлено в следующем виде [3]:

$$\xi(t) = A \cos \omega_{cp} t \frac{\sin \frac{1}{2} N \delta\omega t}{\sin \frac{1}{2} \delta\omega t}, \quad (3)$$

т.е.
$$\xi(t) = A(t) \cos \omega_{cp} t, \quad (4)$$

$$A(t) = A \frac{\sin(\frac{N}{2}(N-1)\Delta\omega t)}{\sin(\frac{1}{2}(N-1)\Delta\omega t)}. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что выражение (3) описывает отличные по структуре квазигармонические сигналы при различных значениях коэффициента N . При четных значениях коэффициента N в спектре сигнала отсутствует колебания на частоте ω_{cp} , а при нечетных значениях коэффициента N в спектре результирующего колебания присутствует колебания на частоте ω_{cp} .

Рассмотрим особенности процессов при больших значениях N . При исследовании больших интервалов времени видно, что выходные сигналы имеют импульсный периодический характер, вид соответствует выражению 5. При этом при нечетных значениях коэффициента N импульсы положительные и не меняют полярность при увеличении времени наблюдения. Напротив, при четных значениях данного коэффициента полярность импульсов

чередуется, принимая поочередно то положительные, то отрицательные значения.

Получено выражение огибающей процесса для четного количества гармонических составляющих:

$$A(t) = 2A \sum_{i=0}^k \cos\left[\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}\right)\left(1 - \frac{2i}{N-1}\right)\right]t, \quad (6)$$

и для случая нечетного количества составляющих:

$$A(t) = 1 + 2A \sum_{i=0}^k \cos\left[\left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}\right)\left(1 - \frac{2i}{N-1}\right)\right]t \quad (7)$$

Частота следования импульсов при четном и нечетном количестве составляющих квазигармонического колебания определяется из выражений (8) для четного количества составляющих и из выражения (9) для нечетного количества составляющих.

При четном количестве составляющих квазигармонического колебания получаем

$$\omega_T = \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}\right)\left(1 - \frac{2(0,5N-1)}{N-1}\right) = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2(N-1)} \quad (8)$$

При нечетном количестве составляющих квазигармонического колебания из выражения (11) получаем

$$\omega_T = \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{2}\right)\left(1 - \frac{2(0,5(N-1)-1)}{N-1}\right) = \frac{\omega_2 - \omega_1}{(N-1)} \quad (9)$$

При этом период следования импульсов можно определить следующим образом

$$T = \frac{1}{2\pi\omega_T} = \frac{2(N-1)}{2\pi(\omega_2 - \omega_1)}. \quad (10)$$

И период следования импульсов

$$T = \frac{1}{2\pi\omega_T} = \frac{(N-1)}{2\pi(\omega_2 - \omega_1)} \quad (11)$$

Из сравнения выражений (10) и (11) следует, что период следования импульсов при нечетном количестве составляющих квазигармонического колебания больше, чем при четном количестве составляющих квазигармонического колебания и зависит от количества составляющих образующих квазигармоническое колебание. При больших значениях N период следования импульсов в 2 раза больше, чем в случае четного количества составляющих

Как показали наши исследования длительность импульса практически не зависит от количества составляющих квазигармонического колебания.

Выводы:

1. Характер огибающей квазигармонических колебаний зависит от количества гармоник в спектре. При четном количестве импульсы чередуются, меняется полярность выбросов. При нечетном – огибающая представляет собой последовательность положительных импульсов.

2. Период следующих импульсов зависит от четного и нечетного количества гармонической составляющей, при больших значениях N период следования импульсов в 2 раза больше, чем в случае четного количества составляющих.

3. Длительность импульса при больших количествах N не изменяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин А.Г., Польский Ю.Е. Структура и информационная емкость узкополосных шумов в лидарных системах с гетеродинным приемом // Оптика атмосферы и океана. — Томск, 1995. — Вып. 8, № 5. — С. 92—97.
2. Ильин А.Г., Ильин Г.И. Особенности преобразования Гильберта, для описания квазигармонических колебаний с произвольной структурой // Инфокоммуникационные технологии.-2007.- № 4-с.13-15.
3. Ф. Крауфорд Волны. Берклеевский курс лекций. Т. 3 Издательство Наука г. Москва,1976

TO THE THEORY QUASIHARMONIOUS FLUCTUATIONS

Sh.Abdulmanov, G.I. Ilin

The purpose of the given work is finding-out of the basic structural properties given quasiharmonious fluctuation and also an estimation and definition of its spectrum bending around.

The most learned in fluctuations are signals of pulsation two harmonious fluctuations and the peak-modulated signals. At the analysis quasiharmonious fluctuations it is necessary to consider structure of fluctuation. The specified structural distinctions are expedient for tracking on more complex quasiharmonious fluctuations.

УДК 517.958, 537.876.46

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА СИСТЕМЕ ТЕЛ И ЭКРАНОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Москалева М.А.

(Пензенский государственный университет)

В пространстве R^3 рассматривается задача дифракции электромагнитных волн на системе непересекающихся экранов Ω_j и тел Q_i ($j=1, \dots, J; i=1, \dots, I$).

Неоднородность задачи описывается тензор-функцией диэлектрической проницаемости $\hat{\varepsilon}(x)$:

$$\hat{\varepsilon}(x) = \begin{cases} \varepsilon_0 \hat{I}, & x \in (\overline{Q} \cup \overline{\Omega})^c \\ \hat{\varepsilon}_i(x), & x \in \overline{Q}_i, \end{cases}$$

Исследуемая задача сводится к системе интегро-дифференциальных уравнений [1]. Для перехода от системы интегро-дифференциальных уравнений к СЛАУ используется проекционный метод (схема Галеркина). В качестве тестовых и базисных функций на теле и экране использованы базисные функции «крышки» и базисные функции «гоoftop».

На основе разработанного численного метода построен вычислительный алгоритм и реализован комплекс программ на языке C++, позволяющий решать задачи дифракции электромагнитных волн на системе тел и экранов различных конфигураций. В качестве примера приводится визуализация численных результатов решения задачи дифракции электромагнитных волн на системе, состоящей из тела, окруженного уголковыми отражателями и на частично экранированном теле [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Ю.Г., Цупак А.А. Математическая теория дифракции акустических и электромагнитных волн на системе экранов и неоднородных тел. –М.: Русайнс, 2016. -226 с.
2. Medvedik M.Yu., Moskaleva M.A., Smirnov Yu.G. The subhierarchical approach to study the problem of electromagnetic wave

diffraction by a system of bodies and screens // Proceedings of the International Conference “Days on Diffraction” 2015, St. Petersburg, Russia, 2015. – 4 p.

**NUMERICAL METHODS TO SOLVE DIFFRACTION
PROBLEMS ON THE SYSTEM OF BODIES AND SCREENS OF
COMPLEX FORM**

Moskaleva M. A.

(Penza State University)

The project is devoted to development numerical methods to solve 3D vector electromagnetic diffraction problems on bodies and screens. Since such problems find a lot of applications the project topic is actual. It is important to note the wavelength is commensurable with the size of scatterers and thus the problem under consideration are studied in the resonant frequency range. In additional difficulty is that the considered problems are not elliptic in the general case. The problems are studied using surface and volume integral equations approaches. With these approaches the original problem is reduced to a system of integro-differential equations on the bodies and screens.

УДК 621.396

**О ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ НАПРАВЛЯЕМЫХ МОД В
КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОСТРУКТУРАХ С
ГРАДИЕНТНЫМИ ТЕНЗОРАМИ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ**

Киреева А.И., Руденок И.П.

(Волгоградский государственный технический университет)

Градиентная анизотропия диэлектрической и магнитной проницаемостей в наноструктурах говорит о том, что их собственными модами являются смешанные гибридные поверхностные и псевдоповерхностные моды. Несмотря на существенный прогресс в области создания и использования в оптоэлектронике и интегральной оптике волноведущих структур на основе градиентных анизотропных наноматериалов, процессам

распространения и взаимодействия гибридных поверхностных мод посвящено мало работ. Анализ дискретного спектра оптических волн тонкоплёночных наноструктур рассматриваемого типа проведён для однородных анизотропных сред и отдельных частных случаев ориентации главных осей тензора диэлектрической и магнитной проницаемостей.

Рассмотрена анизотропная композиционная плёнка, элементы тензора диэлектрической проницаемости которой плавно изменяются по толщине. Волноведущий слой окружён покрытием и подложкой со скалярными градиентными материальными характеристиками. Магнитную проницаемость нанокристаллической плёнки также полагаем тензором с переменными элементами, зависящими от одной из поперечных координат. В качестве эталонной взята градиентная анизотропная структура с тензором диэлектрической проницаемости, главные оптические оси которого совпадают с осями координат и с переменной скалярной магнитной проницаемостью.

Вводя двухкомпонентные амплитудные векторы с учётом ортонормированной системы мод эталонной структуры, получили векторную систему связанных интегродифференциальных уравнений. Найдены её векторные решения, определяющие структуру электрических и магнитных векторов собственных гибридных мод нанокристаллической структуры. Проведён анализ состава гибридных мод (суперпозиция и комбинация мод эталонного волновода), распределения электрических и магнитных полей в поперечном сечении структуры, поведения поперечных и продольных волновых чисел в зависимости от приведённого поперечного размера волноведущей плёнки. Представлены зависимости постоянных распространения гибридных мод от произвольного угла между оптической осью, которая лежит в плоскости структуры уз и направлением распространения мод для различных значений параметров градиентности распределений элементов тензора диэлектрической и магнитной проницаемостей и видов их пространственных профилей. Если в составе гибридной поверхностной моды доминируют поперечно-магнитные моды, то

зависимость продольного волнового числа от угла между оптической осью и направлением распространения значительна.

**ON THE TRANSFORMATIONS OF DIRECTIONAL MODES IN
COMPOSITE NANOSTRUCTURES WITH GRADIENT TENSORS OF
DIELECTRIC AND MAGNETIC PERMEABILITY**

Kireeva A. I., Rudenok I. P.

("Volgograd State Technical University")

Gradient anisotropy of the dielectric and magnetic permeabilities in nanostructures suggests that the intrinsic modes of thin films are mixed hybrid surface and pseudo-surface modes. Despite significant progress in the field of creating and using waveguide structures based on gradient anisotropic nanomaterials in optoelectronics and integrated optics, few studies have been devoted to the propagation and interaction of hybrid surface modes. An analysis of the discrete spectrum of optical waves of thin-film nanostructures of the type considered is carried out for homogeneous anisotropic media and individual particular cases of orientation of the principal axes of the dielectric and permeability tensor.

An anisotropic compositional film is considered, the elements of the permittivity tensor of which smoothly vary in thickness. The waveguide layer is surrounded by a coating and a substrate with scalar gradient material characteristics. The magnetic permeability of a nanocrystalline film is assumed to be variable from one of the transverse coordinates. As a reference, a gradient anisotropic structure with a dielectric permittivity tensor is taken, whose main optical axes coincide with the coordinate axes and with a variable scalar magnetic permeability.

Introducing two-component amplitude vectors with allowance for the orthonormal system of modes of the reference structure, we obtained a vector system of coupled integro-differential equations. Its vector solutions determining the structure of the electric and magnetic vectors of the intrinsic hybrid modes of a nanocrystalline film are found. The analysis of the composition of hybrid modes (superposition and combination of modes of the reference waveguide), the distribution of electric and magnetic fields in the cross section of the structure, the behavior of the transverse and longitudinal wave numbers, depending

on the transverse size of the waveguiding film. Dependences of the propagation constants of hybrid modes on an arbitrary angle between the optical axis that lies in the plane of the yz film and the direction of mode propagation for different values of the gradient parameters of the distributions of the elements of the permittivity tensor and the types of spatial profiles of the magnetic permeability are presented. If transverse-electric modes predominate in the hybrid surface mode, then the dependence of the longitudinal wave number on the angle between the optical axis and the direction of propagation is insignificant.

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ. ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ГРАВИТАЦИИ

Тамбовцев В.И.

(Южно-Уральский государственный университет)

В работе обсуждаются пост Эйнштейновские результаты исследований эффектов гравитационных взаимодействий, в частности, при солнечных затмениях. Показано, что открытие чёрных дыр подтверждает справедливость расчётов Лапласа о значительном превышении скорости гравитационных взаимодействий скорости света.

В 1905 г. Альберт Эйнштейн публикует знаменитую работу «К электродинамике движущихся сред» [1]. В последствии эта работ была названа специальной теорией относительности, в которой какое-либо движение быстрее света невозможно. Постулат переносится и на гравитационные волны, и гравитационные взаимодействия.

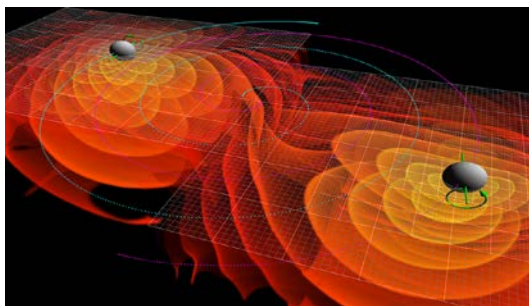


Рис. 1. Моделирования сливающихся Чёрных Дыр, излучающих гравитационные волны.

О первом прямом детектировании гравитационных волн коллаборациями LIGO и VIRGO было объявлено 11 февраля 2016 года [2]. Событию присвоено обозначение GW150914. Необходимо отметить, что Нобелевской премии по физике за 2017 год удостоится американцы Барри Бэриш, Райнер Вайсс и Кип Торн «за решающий вклад в детектор LIGO и наблюдение гравитационных волн». Результаты моделирования сливающихся чёрных дыр, излучающих гравитационные волны, представлены на рис. 1. Эти волны как бы являются рябью пространства, распространяющиеся во времени с некоторой скоростью. Вопрос о скорости (по мнению автора) пока остаётся открытым, что и требует дополнительных исследований.

В настоящее время существуют, по меньшей мере, две противоречивых модели тяготения, с помощью которых, например, производится прогноз и расчёт траекторий космических аппаратов [3]. Это, с одной стороны, статическая модель Ньютона для точечных масс, где скорость гравитационного взаимодействия ничем не ограничивается. С другой стороны – уточняющая модель Пуанкаре и постулат Эйнштейна, в котором считается, что скорость любого взаимодействия, в том числе и гравитационного, должна быть меньше или равна скорости света в вакууме [4]. В академических кругах предпочитали обходить это противоречие. Другие гипотетические модели гравитации и теоретические оценки её скорости пока не получили необходимого подтверждения из-за сложности организации, проведения и обработки результатов

астрофизических измерений [5]. Однако, в связи с открытием при солнечном затмении аномального эффекта изменения гравитации (Морис Алле, 1954 г.) [6], появилась возможность проводить наблюдения в земных условиях и находить скорость гравитации (или гравитационного взаимодействия) по сдвигу времени запаздывания между световым затмением и «гравитационной тенью». Напомним, что напряжённость гравитации на поверхности Земли численно равна ускорению свободного падения (и по размерности).

Первым попытку оценить скорость гравитации предпринял Лаплас ещё в 1797 г. [7]. По наблюдениям за вековыми изменениями ускорений Луны и Юпитера (не испытывали изменений с допустимой в то время точностью) было получено нижнее пороговое значение скорости гравитации в 75 миллионов большее, чем уже хорошо измеренная в то время скорость света. Поэтому, не опасаясь какой-либо заметной погрешности, принято передачу силового действие тяготения принять за мгновенное. Лаплас также высказал гипотезу о существовании невидимых звёзд, для которых вторая космическая скорость (для горизонта событий) равняется скорости света $c=3 \cdot 10^8$ м/сек. Эти, так называемые Чёрные Дыры (ЧД), можно обнаружить через эффект гравитационное воздействие на окружающие (и не только окружающие) космические объекты.

Открытия пришлось ждать почти два столетия. В 1964 году во время суборбитального полёта был обнаружен ярчайший источник рентгеновского излучения в созвездии Лебедя, связанный с яркой звездой переменной светимости, массой в 20 раз большей массы Солнца и с удалением на 6500 св. лет. Анализ результатов показал, что источником рентгеновского излучения являлась не эта звезда с периодом изменения светимости 5,6 суток, а космическая пыль, сносимая на соседнюю невидимую звезду (эффект аккреции). Это Лебедь X-1 с массой в 16,8 раз большей массы Солнца [8]. Звезда слишком компактна, чтобы быть каким-либо объектом кроме Чёрной Дыры [9]. Радиус горизонта событий (по второй космической скорости, равной c) составляет 26 км. В настоящее время открыто более 50-ти ЧД, что подтверждает

объективность расчётов Лапласа для скорости гравитации. Из современных авторитетов по разработанной методике, но с использованием современных данных, Томас Ван Фландерн получил значение на 10^{10} большее скорости c [5] (за что в своей научной среде был предан анафеме?!).

Начиная с работ Алле Мориса [6], в земных условиях более шестидесяти лет проводятся наблюдения с целью определения скорости распространения гравитации по сдвигу времени запаздывания между световым затмением и «гравитационной тенью» от луны [10]. Согласно экспериментальным данным Тома Ван Фландерна временная разница между максимумом видимого затмения и центром гравитационных изменений составила 38 ± 1.9 секунд времени. Это даёт оценку того, что скорость распространения гравитационного возмущения в 20 раз быстрее скорости света [5]. Минимум, ограничивается разрешающей способностью гравиметрических измерений (здесь 1.9 секунд).

На рис. 2. наблюдается эффект аномальной гравитации во время полного солнечного затмения в Париже 30-го июня 1954 года [6, 10]. Обозначения: А) – начало затмения (11:21 U.T.); В) – максимальная фаза (12:40 U.T.); С) – завершение затмения (13:56 U.T.). Луч от Солнца до Земли, как известно, проходит за 500 сек.

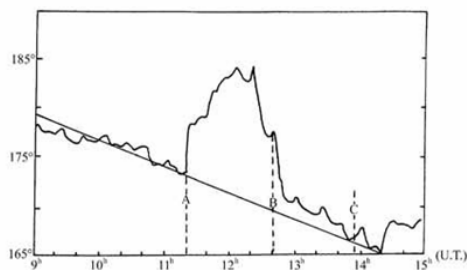


Рис. 2. Изменение гравитации при солнечном затмении. Париж, 30-го июня 1954 года. Наблюдаемый эффект аномальной гравитации [9].

Резкое увеличение гравитации (возможно «рефракция»!) происходит в начале затмения с точностью до временного разрешения. По развёртки для гравитационной зависимости видно, что временное разрешение не меньше 10 секунд. Также сложно определить и положения центра гравитационного пятна: здесь это

конец ската за центральным пунктиром, что смещено относительно «В» на 450 сек. Абсолютное положение проекции Солнца находится впереди от «В» на интервал в 500 секунд. На этот момент абсолютного времени находится скорость гравитации с минимальным значением – это 50 c ! Качественно соответствует экспериментальным данным Тома Ван Фландерна [5]. Возможный максимум скорости (но не бесконечность!) здесь не определяется из-за большой погрешности для разрешения по времени.

Автору пока не удалось найти необходимых данных по последним наблюдениям, полученным в Китае и Казахстане. Но можно сказать, что скорость гравитации значительно превышает скорость света. В перспективе возможно участие и в спутниковых исследованиях гравитации [3, 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Albert Einstein - Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Annalen der Physik, IV. Folge 17. Seite 891-921. Juni 1905.

2. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger (Наблюдение гравитационных волн от слияния двух черных дыр). B. P. Abbott et al. – LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration (2016). Physical Review Letters 116 (6).

3. Гневко А. И. и др. О скорости гравитации/ А. И. Гневко, М. В. Мукомела, С. Н. Соловов, В.А.Янушкевич // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 01 (55) Часть 2. – С. 87– 90.

4. Тамбовцев В.И. О распространении гравитационного возмущения // Материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. «Физика и техн. приложения волн. Процессов». С.-Пб. - 2009.

5. Van Flandern T. What the Experiments Say// Phys. Lett. A, 250 (1-3) (1998), pp. 1–11.

6. Allais M.F.C. Should the Laws of Gravitation be reconsidered/ part 1, Aero/Space.Engineering, Sept. 1959; ibid. part 2, Oct. 1959; ibid., part 3, Nov. 1959.

7. Лаплас П. С. Изложение системы Мира. – Ленинград: «Наука», 1982. – 376 с.

8. Ninkov Z., Walker G. A. H. , Yang S. The primary orbit and the absorption lines of HDE 226868 (Cygnus X-1)»// Astrophysical Journal, (1987). Part 1321: pp 425–437.

9. Хокинг Стивен. Краткая история времени. От большого взрыва до Чёрных дыр. – Санкт-Петербург: Амфора, 2007 г., 232 с.

10. Ren Zhenqiu, Lin Yi. Post-Einstein gravitational effects (Гравитационные эффекты после Эйнштейна)// The International Journal of Systems & Cybernetics (Международный журнал систем и кибернетики). 2001. Volume 30. Number 4, pp. 433-448.

11. Торге В. Гравиметрия. Москва: Мир, 1999 г. 429 с.

BLACK HOLES. THE PROBLEM OF DETERMINING THE SPEED OF GRAVITY

V.I. Tambovtsev

This paper discusses the post Einstein the results of studies of the effects of gravitational interactions, in particular during solar eclipses. It is shown that the discovery of black holes confirms the validity of Laplace's calculations of a significant excess of the speed of gravitational interactions of the speed of light.

СЕКЦИЯ 2. ПЕРЕДАЧА И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Сопредседатели: Воловач В.И. д.т.н. (Тольятти);

Ильин Г.И. д.т.н. (Казань);

Захарченко В.Д. д.т.н. (Волгоград);

Пономарев Л.И. д.т.н. (Москва).

УДК 621.396.969.181.2

МОБИЛЬНЫЙ БИСТАТИЧЕСКИЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС VHF-Р ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Борисенков А.В., Горячкин О.В., Дмитренко В.И.,

Женгуров Б.Г., Долгополов В.Н., Курков И.Г.,

Суханов Д.В., Хохлов Е.Н.

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

Широкополосная радиолокация с синтезированной апертурой в диапазонах 20-500МГц в полосе частот >100МГц с борта БПЛА и мобильных носителей отрывает возможности для новых применений данных систем в задачах ДЗЗ и обороны. Наиболее захватывающие из них связаны с возможностью наблюдать малоразмерные подповерхностные или скрытые растительностью объекты. Системы подповерхностного радиолокационного зондирования земли с летательных аппаратов появились в конце 80-х годов прошлого века. В 1988 году в JPL стартовал проект многочастотной платформы AIRSAR, предполагавший установку радара в диапазоне VHF. Примерно в тоже время начата разработка длинноволновых радаров в Stanford Research Institute и Sweden's Defence Research Agency. В Советском союзе аналогичные работы начаты в 1989 году в ИПЭ РАН УССР (г.Харьков) и ЦСКБ (г.Самара) под руководством проф. А.И. Калмыкова. Современное состояние данных систем характеризуют следующие аналоги: CARABAS FOPEN DEMONSTRATOR – PCA на борту БПЛА, разработанная в корпорации Saab (Швеция); FOPEN Reconnaissance, Surveillance, Tracking and Engagement Radar - радиолокатор предназначенный для разведки целей укрытых листвой; TRACER - PCA в двойной полосе (UHF/VHF); Boeing

А160Т – радиолокационная система Р диапазона, размещенная на борту БПЛА. В период с 2005 по настоящее время научный коллектив центра радиолокационного дистанционного зондирования Земли ПГУТИ (г.Самара) занимается РТС ДЗЗ, которые развиваются не только в направлении создания глобальных, весьма дорогостоящих космических и/или авиационных систем, но и в направлении создания локальных, при этом относительно дешевых технологий, обеспечивающих приемлемый уровень качества решения различных задач ДЗЗ, базирующихся на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), наземном транспорте или некоторой стационарной наземной инфраструктуре [1,2].

В докладе описан бистатический радиолокатор с синтезированной апертурой, работающий одновременно (синхронно) в VHF и Р-диапазонах частот, разработанный в ЦРДЗЗ ПГУТИ в 2013-2017гг. Приводятся результаты экспериментальной отработки данного радиолокатора, цель которой была в получении сверхвысокой разрешающей способности, которая обусловлена увеличением полосы частот с 30МГц в Р диапазоне и 50МГц в VHF диапазоне до 80МГц в совмещенном режиме.

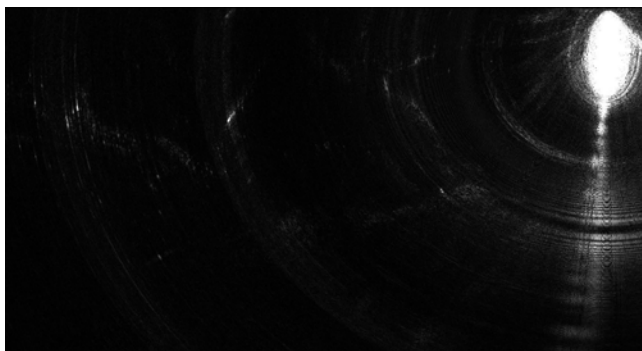


Рис. 1. Радиолокационное изображение (РЛИ) местности, полоса частот 30МГц в Р диапазоне и 50МГц в VHF диапазоне, шаг пикселей 1.5×1.5м, время синтеза 40с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горячкин О.В., Женгуров Б.Г., Бакеев В.Б., Барабошин А.Ю., Невский А.В., Скоробогатов Е.Г. Бистатический радиолокатор с синтезированной апертурой Р-диапазона для МКА «АИСТ-2» // Электросвязь. 2015. № 8. С. 34-39.

2. Горячкин О.В. Центр радиолокационного дистанционного зондирования Земли ПГУТИ // Вестник связи. 2016. № 2. С. 24-26.

**THE MOBILE BISTATIC RADIOLOCATION COMPLEX VHF-P
FREQUENCY BAND ULTRAHIGH RESOLUTION**

**Borisenkov A.V., Goryachkin O.V., Dmitrenok V.I., Zhengurov
B.G., Dolgoplov V.N., Kurkov I.G., Sukhanov D.V., Khokhlov E.N.**
(Povolzhskiy state university of
telecommunications and informatics)

Abstract: The new results of research in ultra wide band radiolocation with synthetic aperture in frequencies from 20 to 500 MHz was shown in this paper.

УДК 621.396

**ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫСОТЫ
РЕЛЬЕФА БИСТАТИЧЕСКИМ РСА Р-ДИАПАЗОНА
ДЛЯ ДВУХ ВАРИАНТОВ СЪЁМКИ**

Горячкин О.В., Маслов И.В.

(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики, АО «РКЦ «Прогресс»)

В настоящее время космические радиолокаторы с синтезированной апертурой антенны являются (РСА) важным и достаточно эффективным инструментом дистанционного зондирования Земли. Одно из главных преимуществ использования радиолокационных систем, по сравнению с оптическими системами, является возможность применения интерферометрической обработки пары радиолокационных изображений, которая наряду с возможностью построения цифровых моделей рельефа (ЦМР) позволяет количественно оценивать важные био- и геофизические параметры Земли.

Одним из вариантов получения радиолокационных изображений может выступать бистатический РСА, у которого передатчик расположен на космическом аппарате (КА), а приемник стационарно на господствующей высоте.

Бистатический радиолокационный комплекс (БиРЛК) малого космического аппарата «Аист-2Д» (Россия) является

первым в истории космического ДЗЗ радиолокационным комплексом, работающим в Р-диапазоне частот.

Рассматривается возможность применения интерферометрической бистатической съемки в Р-диапазоне при конфигурации малый космический аппарат – наземный пункт приема. Оценивается ошибка определения высоты цели при воздействии аддитивного шума на интерферометрическую разность фаз, без учета влияния атмосферы (ионосферы), при двух вариантах съемки: однопроходной и двухпроходной. Дается количественное сравнение ошибки определения высоты для двух вариантов съёмки при различном удалении цели от наземного пункта приема. Проводится оценка временной декорреляции при горизонтальном смещении цели. Полученные результаты показывают возможность использования двухпроходной интерферометрической бистатической съёмки в Р-диапазоне при пролете малого космического аппарата по близким виткам с приемлемой погрешностью.

**REASONABILITY ESTIMATION APPLICATION REPEAT PASS
BISTATIC INTERFEROMETRY SAR
P-BAND**

Goriachkin O.V., Maslov I.V.

*(Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics,
Joint Stock Company Space Rocket Centre Progress)*

One of the priorities of the development of modern means of remote sensing is getting digital elevation models. At the present time synthetic aperture radar is quite developing actively. Synthetic aperture radar make it possible radar images obtaining with high spatial resolution and an interferometric pair of radar images obtaining for digital elevation models of a good quality. The article considers of using interferometric bistatic acquisition in the P-band with the configuration of a small spacecraft – fixed ground base receiving point. Error estimate in definition the height of the target influence of additive noise on the interferometric phase difference, without effect of atmosphere (ionosphere), with two types of acquisition: single pass and repeat pass. A quantitative comparison of the height definition error for the two variants acquisition with the different distance of the target from the ground receiving point is given. An estimation of temporal decorrelation is present with a horizontal displacement of the target.

These results demonstrate the ability to use a repeat pass interferometric bistatic image P-band by close formation flights.

УДК 621.383

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ
МУЛЬТИМАСШТАБНЫХ И
МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА
РАДИОКАНАЛЕ «СПУТНИК – НАЗЕМНАЯ
СТАНЦИЯ»**

Ахметгалиев Р.В., Султанов А.Х.

*(Уфимский государственный авиационный
технический университет)*

В настоящее время большинство космических аппаратов (КА), выполняющих задачи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), оснащаются аппаратурой мультиспектральной съемки поверхности планеты. Увеличение числа спектральных каналов неблагоприятно сказывается на передаваемых снимках по радиоканалу «спутник – наземная станция», так как при ограниченной полосе частот и сравнительно невысокой пропускной способности увеличение числа спектральных каналов приводит к уменьшению скорости и качества передачи снимков. Одним из выходов в сложившейся ситуации является применение оптико-электронных комплексов с мультиспектральной и мультимасштабной технологией получения снимков, которые сочетают в себе информативность и высокую четкость, за счет большего пространственного разрешения.

Самым оптимальным решением по увеличению пропускной способности радиоканала является преобразование получаемых снимков с помощью различных алгоритмов сжатия, выполняемых бортовой аппаратурой КА. Большой вклад в развитие идей сжатия снимков с помощью различных методов преобразования сигналов оказали работы сотрудников кафедры «Телекоммуникационные системы» Уфимского государственного авиационного технического университета: Мешкова И.К., Багманова В.Х., Кузнецова И.В., Филатова П.Е. и Воронкова Г.С.

Для повышения эффективности передачи мультиспектральных снимков по радиоканалу «спутник – наземная станция» были предложены следующие методы:

- метод мультимасштабного сжатия на основе использования квазинепрерывных рекурсивных разверток типа Пеано-Гильберта и вейвлет-преобразований; [1]
- метод координированного предсказания сигналов, использующий дифференциальный импульсно-кодový преобразователь; [2]
- метод дифференциального преобразования OFDM-сигналов, отличающийся координированной поканальной экстраполяцией сигналов. [3]

Всё вышеприведенные методы используются при непрерывной передаче снимков ДЗЗ или же с помощью команд управления КА с наземного центра управления полетом. В качестве альтернативного метода повышения эффективности передачи ДЗЗ предлагается использовать метод дифференциально-корреляционного сканирования мультиспектральных снимков. Суть предлагаемого метода заключается в предварительном сканировании получаемых мультиспектральных снимков бортовой аппаратурой КА. Сканирование проводится микропроцессорным оборудованием между двумя космическими снимками, сделанными над одним участком земной поверхности, но в разное время. Для КА низкоорбитальной группировки этот период приблизительно равен ста минутам. Наличие различий в двух мультиспектральных снимках, сделанных с временным интервалом, будет сигнализировать о необходимости провести более детальную съемку «проблемного» участка земной поверхности. Именно этот «проблемный» мультиспектральный снимок будет отправлен в радиоканал «спутник – наземная станция» при последующем сеансе связи с наземным пунктом управления, т.е. появлении в зоне радиовидимости наземной станции. Отказавшись от непрерывной передачи снимков по радиоканалу на Землю, а наделив бортовую аппаратуру КА возможностью автономно определять различия в получаемых снимках можно сделать систему оптико-электронного комплекса полностью независимой от команд съемки с Земли. Отказ от постоянной передачи снимков на Землю также приводит к более эффективному энергопотреблению КА, т.к. аппаратура передачи

данных ДЗЗ будет активироваться намного реже, чем при постоянной передаче. Блок-схема оптико-электронного комплекса с системой автономного дифференциально-корреляционного сканирования приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Блок-схема оптико-электронного комплекса

Мультиспектральный снимок после устройства синтеза изображений поступает в устройство обработки, который находит в базе данных сохраненных снимков, расположенных на твердотельном накопителе, снимок с соответствующим участком земной поверхности, но сделанным ранее. Снимок из базы данных выбирается путем поиска соответствующих геотегов - координатных точек участка поверхности планеты. Далее полученный и сохраненный снимки поступают в устройство сравнения изображений, где производится анализ на наличие неоднородностей и различий. Если различия в снимках не обнаружены, то полученный снимок записывается в память базы данных на накопитель, а сохраненный снимок удаляется из памяти. Если различия в ходе анализа были выявлены, то оба снимка последовательно поступают в устройство сжатия изображений, где производится их преобразование, в соответствии с одним из указанных выше методов [1], [2], [3]. Далее снимки поступают в передатчик ДЗЗ и подготавливаются к отправке в радиоканал «спутник – наземная станция».

Представленные в статье методы обработки и передачи мультиспектральных снимков ДЗЗ позволяют улучшить эффективность использования радиоканала «спутник – наземная станция» при сохранении ограниченных параметров радиоканала: полосы пропускания, динамического диапазона и энергетических параметров бортовой радиотехнической аппаратуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. И.К. Мешков. Передача данных дистанционного зондирования Земли для малых спутников на основе мультимасштабных методов разложения сигналов [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. кан. тех. наук. (05.12.13) / Мешков Иван Константинович; УГАТУ. – Уфа, 2010. – 15 с.
2. П.Е. Филатов. Повышение эффективности энергодефицитных многоканальных систем передачи данных на основе метода координированного предсказания сигналов [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. кан. тех. наук. (05.12.13) / Филатов Павел Евгеньевич; УГАТУ. – Уфа, 2016. – 13 с.
3. Г.С. Воронков. Повышение энергетической эффективности автономных систем радиосвязи на основе методов дифференциального преобразования OFDM-сигналов [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. кан. тех. наук. (05.12.13) / Воронков Григорий Сергеевич; УГАТУ. – Уфа, 2017. – 14 с.

IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF TRANSMISSION OF MULTI-SCALE AND MULTISPECTRAL IMAGES OF REMOTE SENSING OF THE EARTH ON THE RADIO CHANNEL "SATELLITE - GROUND STATION"

Akhmetgaliev R.V., Sultanov A.H.

(Ufa state aviation technical university)

The report presents methods for improving the transmission efficiency of multispectral imagery of Earth remote sensing systems, based on various methods of compression and processing of acquired images. The method of differential-correlation scanning is proposed in the article, which allows to refuse continuous transmission of remote sensing images and makes the on-board radio electronic equipment more autonomous.

УДК 621.396.6

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ
ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ
ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ RAKE-
ПРИЕМНИКА И ПОЛИГАУССОВА АЛГОРИТМА**

Зарипов Р.Ф., Фатыхов М.М., Файзуллин Р.Р.

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

Для широкого класса систем подвижной связи характерна работа в нестационарных, в том числе негауссовских каналах связи, обусловленных высокой мобильностью пользователей, высоким уровнем внутрисистемных помех, асинхронностью и случайностью доступа в единый канал многочисленных объектов, а также ряда других факторов, приводящих к обострению общей проблемы помехоустойчивости и системной емкости в рамках существующих технологий разделения канального ресурса и стандартизованных радиointерфейсов.

В работе представлен сравнительный анализ помехоустойчивости традиционного RAKE-приемника и полигауссового алгоритма обработки сигналов в сложных помеховых условиях. Моделирование и получение результатов производилось в специализированной программе для моделирования алгоритмов обработки сигналов в мобильных системах связи, которое имеет свидетельство на программу ЭВМ. Для этого были разработаны программные модули «RAKE-приемника» и «Полигауссова детектора».

Симуляция производилась при действии следующих типов шумов и помех, которые присутствуют в канале связи:

- аддитивный белый гауссовский шум и цветной шум;
- быстрые, медленные замирания канала;
- многолучевое распространение;
- помехи вызывающие межсимвольные искажения;
- внутрисистемные помехи;
- хаотические импульсные помехи;
- канал связи, содержащий разнохарактерные сигнально-помеховые комплексы.

Так как с ростом числа просчитываемых статистических гипотез, объем математических вычислений производимых оптимальным полигауссовым алгоритмом растет экспоненциально,

в работе представлены результаты анализа требуемой вычислительной мощности в зависимости от количества сигнальных и помеховых компонент в нормализованном виде для квазиоптимального алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Файзуллин Р.Р., Кадушкин В.В., Зарипов Р.Ф. Полигауссовый алгоритм совместной демодуляции-декодирования в каналах мобильных систем связи // *Нелинейный мир*. 2015. №8. Т.13. С. 4-9.
2. Файзуллин Р.Р., Щербаков Г.И., Фатыхов М.М., Инсаров А.Ю. Полигауссовский алгоритм различения-декодирования многоэлементных сигналов // *Нелинейный мир*. 2017. №1. Т.15. С. 47-53.
3. Verdu S. Multiuser detection. – Camb. Univ. Press. Cambridge, CB2. 2RU, uk. 1998, 452 p.
4. Свидетельство № 2017615223. Программа для моделирования алгоритмов обработки сигналов в мобильных системах связи / Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» (RU). - № 2017612066 ; заявл. 14.03.2017 ; зарегистр. 05.05.2017.

COMPARATIVE ANALYSIS OF ALGORITHMS BASED ON RAKE RECEIVER AND POLY-GAUSSIAN ALGORITHMS NOISE IMMUNITY

Zaripov R.F., Fatykhov M.M., Faizullin R.R.

(“Tupolev Kazan National Research Technical University”)

In this thesis comparative analysis of of algorithms based on rake receiver and poly-gaussian algorithms noise immunity is shown.

УДК 621.396.67

МАРШРУТЫ ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ ПЕЛЕНГАТОРОВ ПРИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

***Разиньков С.Н., Разинькова О.Э., Богословский А.В.
(ФГКВООУ ВО «ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»)***

Для повышения достоверности контроля сложной радиоэлектронной обстановки в высокомобильных комплексах мониторинга с аппаратурой пеленгования на беспилотных летательных аппаратах требуется применять высокоточные методы местоопределения источников радиоизлучения. Данные о координатах позволяют выполнять распознавание объектов при реализации мер маскировки, повышенной скрытности работы, использовании сигналов с адаптивно изменяющимися и перекрывающимися по значениям частотно-временными параметрами [1].

Местоположение передатчиков сигналов большой длительности с характерными демаскирующими признаками [1] можно определять по результатам пеленгования в различных точках пространства на маршруте движения высокомобильного пеленгатора [2]. Для оценки координат источников коротких (сверхкоротких) импульсов и излучателей с малым набором параметров идентификации необходимо применять триангуляционный метод [3] при синхронном пеленговании с бортов двух носителей, движущихся в заданных позиционных районах.

Движение высокомобильных пеленгаторов должно осуществляться по траекториям, выбираемым из условия обеспечения требуемой точности местоопределения объектов наличии эксплуатационных погрешностей измерения углов прихода сигналов [2].

В предлагаемой работе синтезированы алгоритмы выбора точек оценки направления прихода сигналов на траектории движения одиночного высокомобильного пеленгатора и курсовых углов двух носителей приемников-пеленгаторов из состава триангуляционной системы, при которых достигается минимум дисперсии местоопределения объектов. Построены маршруты движения высокомобильных пеленгаторов при нахождении

координат источников радиоизлучения с минимальной дисперсией и требуемой точностью за минимальное время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванкин Е.Ф., Понькин В.А. Теоретические основы получения и защиты информации об объектах наблюдения. – М.: Горячая линия-Телеком, 2008. – 386 с.

2. Обнаружение, распознавание и определение параметров образов объектов. Методы и алгоритмы / Под ред. А.В. Коренного. – М.: Радиотехника, 2012. – 112 с.

3. Кондратьев В.С., Котов А.В., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы / Под ред. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.

THE ROUTES OF THE MOVEMENT OF HIGHLY MOBILE DIRECTION FINDERS AT THE FIXING RADIO EMISSION SOURCES

Razin'kov S. N., Razin'kova O. E., Bogoslovsky A. V.

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

Synthesis of routes of the movement of highly mobile direction finders for positioning of sources of a radio emission by estimates of angular coordinates is carried out. Rules of the choice of points of a direction finding of signals on a trajectory of the movement of a single direction finder and course corners of two posts from structure of angle system at which the minimum of dispersion of assessment of location of objects and the required accuracy of determination of their coordinates for the minimum time are reached are found.

УДК 621.396.67

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ СО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ

Разиньков С.Н., Разинькова О.Э., Любавский А.П.
***(ФГКВОУ ВО «ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»)***

Сверхширокополосные (СШП) сигналы, эквивалентные размеры спектров которых превышает 500 МГц или 50% от значения центральной частоты [1], находят применение в системах радиосвязи для обеспечения помехозащищенности радиолиний, высокой скорости и скрытности передачи сообщений [1, 2]. В отличие от сетей беспроводной радиосвязи Wi-Fi (IEEE 802.11), характеризующихся малыми радиусами действия базовых станций, СШП-радиосистемы обеспечивают сплошное покрытие больших территорий с низкой плотностью абонентов. При этом вследствие малой спектральной плотности излучаемой мощности не требуется планировать применения частотного ресурса, как при эксплуатации сетей WiMAX (IEEE 802.16).

Основные направления развития радиосвязи с СШП сигналами ориентированы на создание и совершенствование технических характеристик радиосистем следующих классов:

- локальные сети территориально распределенных информационных датчиков для передачи данных со скоростью до 0,1 Мбит/с на расстояния 0,1...10 км;
- локальные (внутриофисные) системы передачи сообщений со скоростью 0,1...100 Мбит/с на расстояния 10...100 м;
- системы передачи информации (в том числе мультимедиа) с мобильных информационно-вычислительных средств на стационарные компьютерные центры ее сбора, обработки и хранения, а также обмена данными между мобильными устройствами со скоростью более 100 Мбит/с на расстоянии порядка 10 м.

Перечень базовых технологий СШП-радиосвязи включает в себя:

- технологию генерации СШП сигналов с высокой стабильностью повторения с применением устройств на базе GaAs и Si-Ge [3];
- технология излучения и приема негармонических процессов с малой спектральной плотностью мощности с использованием диапазонных антенн с коэффициентами усиления, возрастающими

пропорционально текущему значению частоты спектра сигнала в степени $n \leq 2$, антенных решеток с синхронным сложением сигналов в пространстве [2] и быстродействующих коммутирующих ключей [1, 3];

- технология пространственно-временной обработки СШП сигналов в акустооптических спектроанализаторах и цифровых процессорах быстрого преобразования Фурье [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беличенко В. П., Буянов Ю. И., Кошелев В. И. Сверхширокополосные импульсные радиосистемы // Под ред. В. И. Кошелева. – Новосибирск: Наука, 2015. – 483 с.

2. Моделирование малогабаритных сверхширокополосных антенн / Под ред. В. Б. Авдеева, А. В. Ашихмина. – Воронеж: Изд-во Воронежского госуниверситета, 2005. – 223 с.

3. Козлов А. И., Логвин А. И., Сарычев В. А. Поляризация радиоволн. Кн. 1: Поляризационная структура радиолокационных сигналов. – М.: Радиотехника, 2005. – 704 с.

THE MAIN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT AND BASIC TECHNOLOGIES OF THE RADIO COMMUNICATION WITH SUPER-BROADBAND SIGNALS

Razin'kov S. N., Razin'kova O. E., Lyubavsky A. P.

(“Air Force Academy named after Professor

N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin”)

The main directions of development of a super-broadband radio communication with classification by speed and range of transmission of messages and basic technologies for creation of radio systems are presented.

УДК 621

ПРИНЦИП РАБОТЫ И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЕГО РАЗРАБОТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА.

Бадретдинов Р.А.

*(Казанский Национальный Исследовательский Технический
Университет им. А. Н. Туполева)*

В данной работе рассматриваются функциональные блоки, схемотехническое построение этих блоков цифрового генератора синусоидального напряжения, а также выделение наиболее оптимальных элементов схемы по цене, качеству, затрачиваемого времени на производство.

По мере развития схемотехники от аналоговой до цифровой всегда использовались какие-либо генераторы, так как они почти всегда являются компонентами какого-либо устройства, а развитие схемотехники зависит от качества элементной базы электронных устройств.

В свою очередь технологии производства элементов цифровой схемотехники, таких как регистры, мультиплексоры, сумматоры, логических элементов и т.д., а на основе этих устройств и микроконтроллеров, микропроцессов; стало выгодным производить микросхемы, содержащие несколько элементов цифровой схемотехники, так как это способствует большей универсальности, а также способности создавать большие комбинации из имеющихся цифровых элементов, несмотря на большие расходы сырья и снижению компактности. Таким образом для достижения универсальности, компактности, производительности стали производить микроконтроллеры. В результате стоимость микроконтроллера, содержащего таймеры-счётчики, компараторы, АЦП, регистры и т.д. намного дешевле и компактнее, чем стоимость этих элементов по отдельности.

Основные блоки генератора синусоидального напряжения:

1) интерфейс, содержащий кнопки, указывающие частоту и активирующие устройство; 2) Генератор импульсов; 3) Аналогово-цифровой преобразователь; 4) цифровой компаратор; 5) 2 реверсивных счётчика импульсов; 6) Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 7) Фильтр низких частот (ФНЧ).

Элементы к генератору синусоидального напряжения подбирались по такому параметру как стоимость, в результате было выявлено, что микроконтроллер ATmega8 в котором заключены все элементы, кроме интерфейса, ЦАП и ФНЧ. Можно отметить, что стоимость микроконтроллера гораздо меньше, чем при покупке отдельных элементов вместе взятых, а также его использование сокращает время на производство устройства.

Таким образом, основные компоненты схемы генератора синусоидального напряжения в данной работе являются: 1) интерфейс; 2) источник питания; 3) микроконтроллер ATmega8; 4) ЦАП; 5) ФНЧ. Также предоставляется пример простой программы для программирования данного микроконтроллера.

**THE PRINCIPLE OF OPERATION AND THE ELEMENT BASE OF
THE DIGITAL GENERATOR OF SINUSOIDAL VOLTAGE AND ITS
DEVELOPMENT USING A MICROCONTROLLER.**

Badretdinov R. A.

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

УДК 621.396.67.01

**ДИСПЕРСИЯ ПСЕВДОТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ
ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ
ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ**

Лукин М.Ю.

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

В [1] предложен псевдотриангуляционный (ПТ) способ оценки координат импульсных источников радиоизлучения на основе многопозиционных измерений времени прихода их сигналов. Базовый вариант системы местоопределения представляет собой комплект из двух пеленгационных постов с центром обработки пеленговой информации, а каждый пеленгатор – подсистему из двух приемников-измерителей времени прихода сигналов (ВПС) с пунктом обработки результатов измерений.

С использованием парциального уравнения передачи-приема негармонических волновых процессов в прямом радиоканале [2]

найденно выражение для дисперсии оценки местоположения излучателя импульсов в ПТ системе

$$\sigma_R^2 = N_0 \left(\frac{4\pi^2 c R_0^3}{d L \sin^2 \theta_0} \right)^2 \sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^2 \psi_{ki} \left[\int_{\Omega_{min}^{ki}}^{\Omega_{max}^{ki}} \omega^2 G_T(\omega, \theta_{0i}^k) w_T(\omega) A_R(\omega, \theta_{0i}^k) d\omega \right]^{-1}, \quad (1)$$

где N_0 – спектральная плотность мощности шума приемника, L – база пеленгования, d – база ПТ системы, определяемая как расстояние между центрами пеленгационных баз, R_0 и θ_0 – удаление и угловое положение объекта относительно центра базы ПТ системы,

$$\psi_{ki} \equiv \psi_{ki}(d, L, R_0, \theta_0) = \xi_k^2 + (-1)^i L \sqrt{\xi_k^2 - \sin^2 \theta_0} + L^2 / 4 R_0^2 \quad (2)$$

– геометрический фактор, характеризующий взаимное расположение объекта и приемных постов системы местоопределения, $G_T(\omega, \theta)$ – парциальный коэффициент усиления антенны излучателя на циклической частоте ω в направлении θ , $A_R(\omega, \theta)$ – парциальная эффективная площадь антенны приемника-измерителя ВПС, $w_T(\omega)$ – спектральная плотность энергии на входе антенны излучателя [2],

$$\theta_{0i}^k = \arctg \left(\frac{R_k \sin \theta_0^k}{R_k \cos \theta_0^k + (-1)^{i+1} L / 2} \right), \quad k=1, 2, \quad i=1, 2; \quad (3)$$

направление прихода сигнала к i -ому приемнику k -ой подсистемы пеленгования, $\Omega_{min(max)}^{ki} \equiv \Omega_{min(max)}^{ki}(\theta_{0i}^k)$ – нижняя и верхняя границы спектра сигнала, поступающего с направления θ_{0i}^k ,

$$\xi_k \equiv \xi_k(d, R_0, \theta_0) = \sqrt{1 + (-1)^k d \cos \theta_0 / R_0 + d^2 / 4 R_0^2} \quad (4)$$

– геометрический фактор, характеризующий положение излучателя относительно центров баз пеленгования,

$$R_k = \sqrt{R_0^2 + (-1)^k d R_0 \cos \theta_0 + d^2 / 4}, \quad k=1, 2, \quad (5)$$

– расстояние от излучателя до центра k -ой пеленгационной базы, c – скорость света.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. – М.: Радиотехника, 2009. – 288 с.

2. Разиньков С.Н. Спектральные энергетические уравнения передачи негармонических сигналов и их применение в сверхширокополосных радиосистемах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2010. – Т. 13. – № 3. – . 12.

**THE DISPERSION OF PSEUDO-RADIAL ASSESSMENT OF
COORDINATES OF SOURCES OF PULSE SIGNALS**

Lukin M. Yu.

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

With use of the partial equation of a direct radio channel dispersion of assessment of coordinates of the pulse radiator in pseudo-radial system is found.

УДК 535.645.646

**МЕТОД БОРЬБЫ С ЦВЕТОВЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ,
ВЫЗВАННЫМИ ЗАСВЕТКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ
ЭКРАНОВ**

Ложкин Л.Д., Кузьменко А.А.

*(Самара, ФГБОУ ВО Поволжский Государственный
Университет Телекоммуникаций и Информатики)*

Цветовые искажения, вызванные падением света освещения комнаты, происходят по причине того, что часть света, падающего на экран телевизора, отражается и смешивается с излучаемым экраном излучением. Данный процесс пояснён на рисунке 1 (сам процесс) и рисунке 2-4 (смещение).

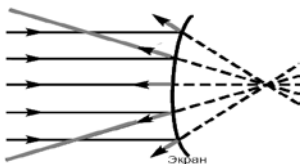


Рис. 1. Процесс отражения света от экрана телевизора

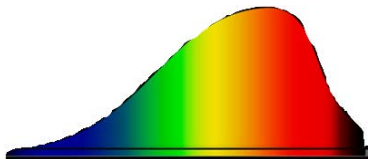


Рис. 3. Спектр лампы накаливания (освещение в комнате)

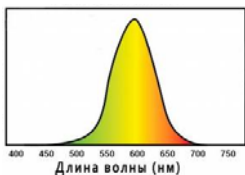


Рис. 2. Спектр желтого цвета
(излучаемый телевизором)

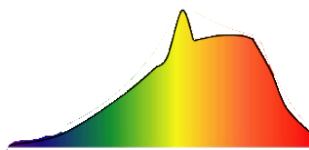


Рис. 4. Итоговое излучение
(сложенное)

Для борьбы с световыми искажениями в настоящее время используются фотомеры, которые в зависимости от яркости освещения автоматически подстраивают яркость и контрастность телевизионного изображения, но чтобы избавиться от искажений от засветки необходимо знать спектр падающего света. Для этой цели отлично подходит метод с использованием фотоэлектрического трёхцветного колориметра параллельного действия. Имеется два метода реализации метода с использованием вычислительных блоков (ВБ) (рис.5) и с использованием ПЗУ (рис.6).

Первый метод заключается в том, что сигналы с видеодетектора (или матрицы) E_R , E_G , E_B поступают на арифметическое устройство, где вычисляются координаты цвета элемента изображения. Вычисления производятся по формулам:

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_R \\ E_G \\ E_B \end{bmatrix}; \quad x_0 = \frac{X_0}{X_0 + Y_0 + Z_0}; \quad y_0 = \frac{Y_0}{X_0 + Y_0 + Z_0}. \quad (1)$$

Во втором методе все вычислительные блоки заменяются блоком ПЗУ, в который записываются необходимые значения видеосигнала



Рис. 5. Метод с использованием вычислительных блоков.

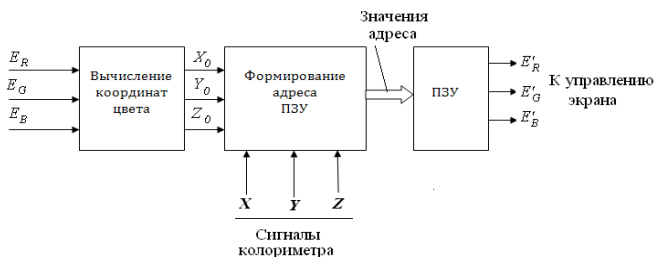


Рис. 6. Метод с использованием постоянного запоминающего устройства (ПЗУ)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ложкин Л.Д. Цвет в телевидении [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ложкин Л.Д. – Самара, 2016.
2. Ложкин, Л.Д. Дифференциальная колориметрия в телевидении [Текст] : автореф. дис. д-ра тех. наук / Л.Д. Ложкин – Санкт-Петербург, 2014.

METHOD OF FIGHTING COLOR DISTORTION CAUSED BY ILLUMINATION OF TELEVISION SCREENS

Lozhkin L.D., Kuzmenko A.A.

(“Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatic”)

УДК 535.645.646

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ЦВЕТОВЫХ ПРОСТРАНСТВ МКО В ТЕЛЕВИДИЕНИИ

Ложкин Л.Д., Кузьменко А.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Первое цветовое пространство было пространство RGB, где использовались реальные цвета R, G и B. Получено пространство было в 1931 году на основе опытов Райта и Гилда [1]:

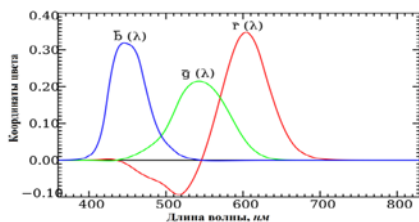


Рис. 1. Кривые сложения цветов RGB [1].

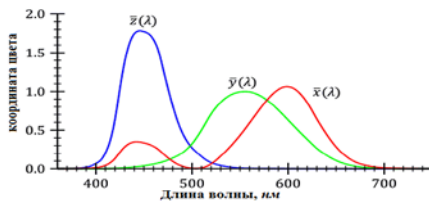


Рис. 2. Кривые сложения $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ МКО 1931[2].

Основным недостатком пространства стало наличие отрицательных значений у кривой R(рис.1), поэтому было принято решение пересчитать её на мнимые цвета X (R), Y (G), Z (B)[3]:

$$X = 0.49000R + 0.31000G + 0.20000B,$$

$$Y = 0.17697R + 0.81240G + 0.01063B,$$

$$Z = 0.00000R + 0.01000G + 0.99000B.$$

Недостаток полученного пространства малые значения функции сложения в диапазоне 380-460нм.

Следующим цветовым пространством стала доработанная МКО-31 названная МКО-1960, где использовались новые данные, полученные Стайлсом, Берчем и Сперанской[2]. Недостатком модели стало то, что ощущения при изменении координат между двумя точками в одной области были менее заметны, чем для другой.

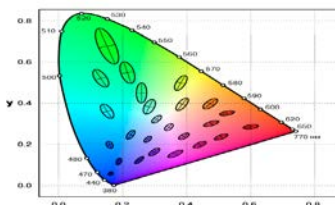


Рис. 3. Эллипсы Мак Адама, на графике МКО(x,y).

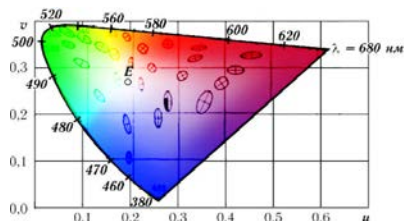


Рис. 4. Система МКО (u, v) 1960 года с эллипсами Мак Адама

Следующей ступенью стало цветовое пространство МКО-1960(u,v)[2]:

$$u = \frac{4 \cdot x}{x + 15 \cdot y + 3 \cdot z}, \quad v = \frac{6 \cdot y}{x + 15 \cdot y + 3 \cdot z}.$$

В данном пространстве ощущения координат между двумя точками было менее заметно, чем в МКО 1960(x,y).

Рассматривая эллиптичность ε эллипсов Мак Адама можно сделать вывод, что наиболее равноконтрастной системой на данный момент является МКО 1960 (u,v) (таб. 1):

Таблица 1. Соотношение размеров эллипсов Мак Адама.

Цветовая система	Отношение площадей эллипсов	Величина порога цветоразличения	Эллиптичность ε
МКО1931(RGB)	158.8	0.0146	24
МКО1931(x,y)	83	0.0059	25.9
МКО1960(u,v)	7.2	0.0038	2.2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ложкин, Л.Д. Дифференциальная колориметрия в телевидении [Текст]: автореф. дис. д.т.н. Санкт-Петербург, 2014.

2. Ложкин, Л.Д. Цвет в телевидении [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ложкин Л.Д. – Самара, 2016.

ANALYSIS OF EXISTING SYSTEMS OF COLOR SPACE MCE IN TELEVISION

Lozhkin L.D., Kuzmenko A.A.

("Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics")

УДК 535.645.646

МЕТОД БОРЬБЫ С ЦВЕТОВЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ, ВЫЗВАННЫМИ РАЗЛИЧНЫМИ ЦВЕТОВЫМИ ОХВАТАМИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ЭКРАНОВ

Ложкин Л.Д., Кузьменко А.А.

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

Различное цветовоспроизведение у телевизора с отличным цветовым охватом, заметно, если одно и тоже изображение смотреть у двух различных моделей телевизоров. На рисунке 1 представлено несколько координат цветового охвата основных цветов для современных приборов для телевизионных экранов.

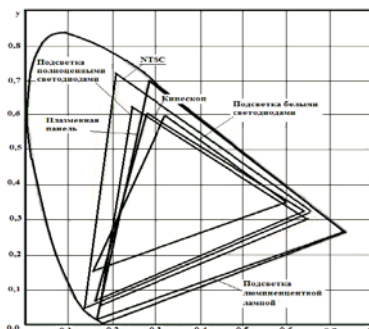


Рис. 1. Координаты цветностей основных цветов современных приборов для телевизионных экранов[1].

Для борьбы с искажениями, вызванными различными цветовыми охватами телевизионных экранов отлично подходит метод разработанный Ложкиным Л.Д., который не требует добавления дополнительных устройств в оборудование телецентра, но взамен этого необходимо добавить небольшое устройство в схему телевизора (рис.2).

Принятый сигнал с телецентра попадает на первый вход ВУ, а на второй подается из ПЗУ девять величин обратной матрицы из выражения (1).

Значения коэффициентов определяется единожды, и зависят только от типа экрана телевизора. После в ВУ происходят вычисления величин видеосигналов U_R , U_G , U_B для воспроизведения на экране цвета с координатами X , Y , Z . В ВУ используется простая логика, а именно если значение любого вычисленного значения U_R , U_G , U_B меньше 0, то его значение приравнивается к 0.

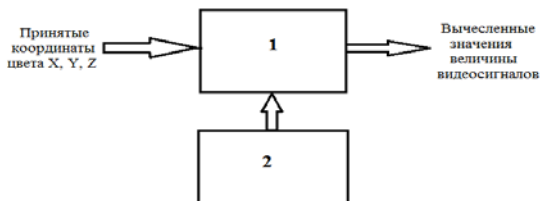


Рис. 2. Добавляемый узел в телевизионный приемник. Здесь (1) – вычислительное устройство (ВУ), (2) – постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)[2]

Матричное уравнение для вычисления значения видеосигнала по принятым координатам[2]:

$$\begin{bmatrix} U_R \\ U_G \\ U_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Ложкин Л.Д. Цвет в телевидении [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ложкин Л.Д. – Самара, 2016.

4. Ложкин, Л.Д. Дифференциальная колориметрия в телевидении [Текст] : автореф. дис. ... д-ра тех. наук / Л.Д. Ложкин – Санкт-Петербург, 2014.

METHOD OF COMBATING COLOR DISTORTION CAUSED BY VARIOUS COLOR TREATMENTS OF TV SCREENS

Lozhkin L.D., Kuzmenko A.A.

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

УДК 621.382

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА 2 ИЛИ–НЕ РЕЗИСТОРНО– ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ

Арефьев А.С., Свойкина В.А., Чеховских Е.С.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Исследуемый логический элемент выполняется на основе двух биполярных транзисторов, на базы которых относительно эмиттеров через резисторы R подаются входные сигналы $U_{\text{вх},1}$, $U_{\text{вх},2}$. Транзисторы включены по схеме с общим эмиттером параллельно друг другу. Выходному сигналу соответствуют коллекторные напряжения транзисторов $U_{\text{вых}} = U_{\text{КЭ},1} = U_{\text{КЭ},2}$. В общую выходную цепь транзисторов включены источник напряжения питания U_0 и резистор R_0 .

Вычисление выходного напряжения сводится к решению системы из трёх трансцендентных уравнений, в которых в качестве неизвестных, помимо $U_{\text{вых}}$, присутствуют напряжения на эмиттерных p – n –переходах транзисторов. Эта система выглядит следующим образом:

$$U_{\text{вх},j} - RI_{\text{Б},j}(U_{\text{ЭБ},j}, U_{\text{ЭБ},j} + U_{\text{вых}}) - U_{\text{ЭБ},j} = 0, \quad (j = \overline{1,2}), \quad (1)$$

$$U_0 - R_0 \sum_{j=1}^2 I_{\text{К},j}(U_{\text{ЭБ},j}, U_{\text{ЭБ},j} + U_{\text{вых}}) - U_{\text{вых}} = 0. \quad (2)$$

Равенства (1) и (2) представляют собой законы Кирхгофа, записанные, соответственно, для входных и выходной цепей транзисторов.

Связь между токами в электродах транзисторов $I_{\text{Э}}$, $I_{\text{Б}}$, $I_{\text{К}}$ и приложенными к этим электродам напряжениями $U_{\text{ЭБ}}$, $U_{\text{КБ}}$ задавалась в виде [1]

$$\begin{aligned} I_{\text{Э}}(U_{\text{ЭБ}}, U_{\text{КБ}}) &= I_{\text{ЭБ},0} [\exp(-\theta_{\text{ЭБ}} U_{\text{ЭБ}}) - 1] - \\ &\quad - \frac{v_{n,i} v_{p,i}}{v_{n,i} + v_{p,i}} I_{\text{КБ},0} [\exp(-\theta_{\text{КБ}} U_{\text{КБ}}) - 1], \\ I_{\text{К}}(U_{\text{ЭБ}}, U_{\text{КБ}}) &= \frac{v_n v_p}{v_n + v_p} I_{\text{ЭБ},0} [\exp(-\theta_{\text{ЭБ}} U_{\text{ЭБ}}) - 1] - \\ &\quad - I_{\text{КБ},0} [\exp(-\theta_{\text{КБ}} U_{\text{КБ}}) - 1], \\ I_{\text{Б}}(U_{\text{ЭБ}}, U_{\text{КБ}}) &= I_{\text{Э}}(U_{\text{ЭБ}}, U_{\text{КБ}}) - I_{\text{К}}(U_{\text{ЭБ}}, U_{\text{КБ}}). \end{aligned}$$

Здесь $I_{\text{ЭБ},0}$, $I_{\text{КБ},0}$ – силы обратных токов насыщения эмиттерного и коллекторного p – n –переходов транзистора, v_n и v_p – коэффициенты переноса электронов проводимости и дырок в базе от эмиттера к коллектору, $v_{n,i}$ и $v_{p,i}$ – коэффициенты переноса электронов проводимости и дырок в базе от коллектора к эмиттеру, $\theta_{\text{ЭБ(КБ)}} = e(kTm_{\text{ЭБ(КБ)}})^{-1}$, e – абсолютное значение заряда электрона, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура транзистора, $m_{\text{ЭБ(КБ)}}$ – коэффициенты неидеальности вольт–амперных характеристик эмиттерного и коллекторного p – n –переходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронные приборы/ В. Н. Дулин, Н. А. Аваев, В. П. Дёмин и др.; Под ред. Г. Г. Шишкина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 496 с.

MATHEMATICAL MODEL OF THE LOGIC ELEMENT 2 OR–NOT OF RESISTOR–TRANSISTOR LOGIC

Aref'ev A. S., Svoykina V. A., Chekhovskih E. S.

(“Volga state university of telecommunication and informatics”)

УДК 621.396

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ДАТЧИК ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ НА ЗАДАННОЙ ДАЛЬНОСТИ

Ивойлова М.М., Кашин А.В., Козлов В.А., Кунилов А.Л.

(ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седякова»)

Среди сверхширокополосных (СШП) сигналов следует выделить класс СШП-шумовых (СШПШ) сигналов, позволяющих обеспечивать РЛС высокие разрешающую способность по дальности и скорости, а также помехоустойчивость и электромагнитную совместимость.

Основными способами обработки отражённых сигналов в СШПШ РЛС являются методы взаимно-корреляционной обработки (ВКО) и двойного спектрального анализа (ДСА) [1].

К основным недостаткам метода ВКО относятся:

- сложность обеспечения квадратурной обработки для СШПШ-сигналов;
- сложность формирования опорных сигналов для больших дальностей ввиду проблематичности получения соответствующих им значений времени задержки СШПШ-сигналов.

К недостаткам метода ДСА относятся:

- низкое быстродействие, обусловленное последовательным анализом спектра суммарного сигнала перестраиваемым по частоте узкополосным избирательным устройством;
- наличие ограничений на диапазон определяемых дальностей;
- низкий энергетический потенциал СШПШ РЛС.

Более высокие показатели быстродействия и диапазона дальностей обеспечивает метод ДСА с параллельным анализом спектра суммарного сигнала [2].

Обнаружение цели на заданной дальности радиолокационным способом осуществляется радиодатчиком (РД) и происходит по наличию сигналов на выходе всех спектральных каналов, соответствующих максимумам спектра суммарного сигнала, и отсутствию их на выходе всех каналов, соответствующих минимумам спектра суммарного сигнала. При этом ширину полосы пропускания спектральных каналов выбирают равной половине периода следования максимумов спектра суммарного сигнала, а их частоты размещают эквидистантно на частотной оси. Анализ спектральных каналов, настроенных на минимумы спектра суммарного сигнала, позволяет исключить «ложное» обнаружение цели на чётных кратных значениях заданной дальности.

Так как многоканальная фильтрация согласована с максимумами спектра суммарного сигнала для заданной дальности до цели, энергетические потери отражённого сигнала будут минимальными, что обеспечит высокий энергетический потенциал РД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Избранные задачи теории сверхширокополосных радиолокационных систем / В.В. Чапурский. – М.: изд-во МГТУ им. Баумана, 2012. – 214-215 с.
2. Патент № 2625170 РФ. Способ обнаружения цели на заданной дальности / А.В. Кашин, В.А. Козлов, А.Л. Кунилов, М.М. Ивойлова. Приоритет от 16.09.2016.

TARGET DETECTION RADAR SENSOR ON THE SPECIFIED DISTANCE

M.M. Ivoylova, A.V. Kashin, V.A. Kozlov, A.L. Kunilov

(Federal State Unitary Enterprise

Federal Research and Production Center

"Research Institute measuring systems named J.E. Sedakov")

A method is proposed for constructing a radar sensor (RS) for detecting a target on the specified distance using an ultrawideband noise probing signal based on the double spectral analysis (DSA) method with parallel analysis of the sum signal spectrum. This method allows to

provide higher quick-action and range of specified distance than the DSA method, and also provides a high energy potential of the RS.

УДК 621.396

СПОСОБ СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ С ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА МЕТОДОМ БИЕНИЙ

***Ивойлова М.М., Кашин А.В., Козлов В.А., Кунилов А.Л.
(ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седякова»)***

Современные тенденции развития радиолокационных систем (РЛС) заключаются в расширении спектра излучаемых сигналов. Одним из перспективных видов сверхширокополосных сигналов, используемых в РЛС, являются сверхкороткоимпульсные сигналы (СКИ). Обработка СКИ-сигналов в РЛС осуществляется на основе MIR-технологии и ТМ-технологии [1, 2].

Недостатками РЛС на основе MIR-технологии являются:

- низкое быстродействие, как следствие измерения дальности до отражающей поверхности за большое количество излучаемых сверхкоротких импульсов;
- высокие энергозатраты на получение одного отсчёта дальности.

Недостатками РЛС на основе ТМ-технологии являются:

- низкая разрешающая способность при больших диапазонах дальностей, обусловленная сложностью формирования большого количества дальномерных каналов;
- низкая экономичность, обусловленная применением многоканальной корреляционной обработки.

Получение лучших характеристик РЛС по быстродействию, разрешающей способности и экономичности возможно с применением принципа обработки отражённого сигнала методом биений. Предлагаемый способ заключается в определении дальности до отражающей поверхности по сигналу биений разностной частоты двух линейно частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов, сформированных в двух широкополосных дисперсионных линиях задержки, на входы

которых поступают квантованные по амплитуде и укороченные по длительности излучаемый и отражённый СКИ-сигналы [3].

Результатом использования предлагаемого способа является определение дальности до отражающей поверхности по одному сверхкороткому импульсу излучения с применением одноканальной обработки отражённого сигнала. При этом процесс преобразования излучаемого и отражённого сигналов в информативный сигнал в виде сигнала биений разностной частоты проводится без дополнительных энергозатрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. – М.: Радиотехника, 2009, С. 14-18.
2. Щербак Н. Сверхширокополосная радиолокация // Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 3/2002, С. 44.
3. Патент 2619086 РФ. Способ определения дальности до отражающей поверхности / А.В. Кашин, А.Л. Кунилов, М.М. Ивойлова. Приоритет от 02.06.2016.

METHOD OF ULTRA-SHORT PULSED RADIOLOCATION WITH SIGNAL PROCESSING BY BEAT METHOD

M.M. Ivoylova, A.V. Kashin, V.A. Kozlov, A.L.Kunilov

(Federal State Unitary Enterprise

Federal Research and Production Center

"Research Institute measuring systems named J.E. Sedakov ")

A method is proposed for determining the range to a reflecting surface in ultra-short pulsed (USP) short-range radar systems based on the principle of a reflected signal processing by the beating method. Advantages of this method are the best characteristics of USP radar in terms of quick-action, resolving power and economy due to the use of a single-channel method for processing of the reflected signal.

УДК 681/5

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА

Захарова О.Н., Ильина О.В., Ильин Г.И.
*(Казанский национальный исследовательский
технический университет)*

Привод по постоянному току нашел широкое применение в более ранних радиотехнических системах. Это связано с технической простотой практической реализации. Приводы, в которых используется фазовые или импульсные системы управления более сложны дороги в производстве. Поэтому является актуальным рассмотреть возможность создания электрического привода по постоянному току. Изменение управляющего напряжения в этих системах осуществляется за счет применения широтно-импульсного модуляции (ШИМ) питающего напряжения. ШИМ легко реализуется в аналоговых системах автоматического регулирования. В состав автоматической системы регулирования по постоянному току включен измеритель скорости перемещения, указывающий, с какой скоростью движется рабочий орган при данном уровне постоянного напряжения. Скорость перемещения сравнивается с заданной. При наличии расхождения между указанными скоростями формируется сигнал управления. С этой целью при расхождении между указанными скоростями определяется разность и ее знак. Знак определяет, в какую сторону необходимо изменять управляющее напряжение (увеличивать или уменьшать). Обычно регулирование обеспечивается за счет изменения постоянной времени интегрирующей цепи, определяющей длительность импульса ШИМ. Время задержки связано периодом питающей сети и изменяется от минимальной задержки до задержки близкой к половине периода питающей сети.

При переходе к микропроцессорному управлению появляются трудности, связанные с реализацией сигнала управления. Это связано, что разностный сигнал формируется за несколько периодов питающей сети, а сигнал управления формируется в каждом полупериоде питающей сети.

С этой целью перед работой в автоматическом режиме в микропроцессор вводится таблица соответствия между разностями скоростей и требуемой задержки ШИМ. Сигнал

управления формируется с текущей разностью скоростей и данными указанной таблицы.

Реализация указанной системы показало, что она успешно работает в реальном масштабе времени

MICROPROCESSOR DIRECT CURRENT DRIVE

Zaharova O.N., Ilyina O.V., Ilyin G.I.

(Kazan national research technical university)

Features of the microprocessor direct current drive

УДК 621.385

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ПУЛЬПОЭКСТРАКТОРОВ

Хасанов Ф.Ф., Нуреев И.И., Азгуллин А.Ф.,

Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Сахабутдинов А.Ж.

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

Пульпоэкстрактор – эндоскопический инструмент, применяемый в стоматологии для чистки корневых каналов зуба. Представляет собой тонкий цилиндр с насечками (рабочая часть) и ручкой (нерабочая часть). Конкретная проблема, требующая решения, состоит в измерении диаметра пульпоэкстракторов разной длины (разброс до 3 мм) на расстоянии 1 мм от его оперативного конца. Диапазон измерения размеров – 180-260 мкм, необходимая точность измерения – 1 мкм [1]. Диаметр пульпоэкстракторов может быть реально определен несколькими способами.

Метод микропроекции работает с рабочим отрезком пульпоэкстракторов. Начальный сегмент пульпоэкстрактора, около 1,5 мм длиной, смазанный вязкой смазкой, помещается под стекло микроскопа и накрывается кусочком стекла. Отражение пульпоэкстрактора увеличивается в 500 раз и проецируется на экран, так что диаметр отдельного пульпоэкстрактора может быть измерен. Для измерения используется стандартная карточка с вырезанными диаметрами. Микропроекция – это дорого и долго.

Метод определения диаметра пульпоэкстрактора воздушной струей занимает меньше минуты и значительно

дешевле метода микропроекции. Этот метод позволяет измерить только средний диаметр пульпоэкстрактора и не годится, если требуется определить размеры отклонения от стандарта. Образец должен быть освобожден от любых внешних элементов. Когда образец будет как следует подготовлен, его загружают в инструментальную воздушную камеру.

Процесс измерения толщины пульпоэкстракторов методом звуковой волны похож на процесс измерения методом воздушной струи, вместо воздуха используется звуковая волна низкой частоты. По сравнению с замерах методом воздушной струи метод звуковой волны даёт более низкие показатели.

Наиболее точные замеры производятся с помощью лазерного анализатора распределения толщины пульпоэкстракторов. Можно точно измерить пульпоэкстракторы с диаметром от 180 до 350 микрон. Результаты, полученные с помощью лазерного анализатора, ничтожно выше по сравнению с результатами, полученными микропроектором. Значения отклонений от стандарта, даваемые анализатором также несколько завышены.

Наилучший результат, т.е. максимальную точность измерений, дают оптические методы. Измеритель основан на теневом методе измерений с использованием ПЗС-матриц, предусматривающем регистрацию теневого изображения контролируемого объекта с последующей обработкой данных микропроцессором. Отличительные особенности: бесконтактность измерений; высокая точность и производительность; отсутствие движущихся механических узлов; простота эксплуатации. Кроме того метод по сравнению с другими очень прост в реализации [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ovchinnikov D.L., Akhtiamov R.A., Dorogov N.V., Morozov O.G., Nureev I.I., Yusupov A.Yu. Automatic sorting installation based on two CCD-cameras for measuring gauge diameter and ellipticity of pulp extractors // Proc. of SPIE. – 2001. – V. 4309. – P. 305-311.

METHODS OF PULPOEXTRACTORS DIAMETER MEASUREMENT

**Khasanov F.F., Nureyev I.I., Agliullin A.F.,
Sarvarova L.M., Tyazhelova A.A., Sakhabutdinov A.Zh.**
(Kazan National Research Technical University
n.a. A.N. Tupolev-KAI)

The best method for measuring the diameter of the pulp extractor is determined. The best result, the maximum accuracy of measurements, gives optical methods. The meter is based on the shadow method of measurements using CCD matrices, which involves recording the shadow image of the monitored object and then processing the data with a microprocessor.

УДК 520

СРЕДСТВА МОБИЛЬНОЙ ГРАВИМЕТРИИ

Головенко А.О., Ковин И.С.

(Южно-Уральский

государственный университет)

С целью проведения измерений или наблюдений в реальном времени рассматриваются метрологические характеристики мобильных гравиметров.

На экваторе земли напряженность гравитационного поля равна примерно 978 гал, на полюсах – 982,5 гал. Простой и точный способ измерения ускорения свободного падения (маятниковый способ) был предложен после вывода Гюйгенсом формулы для периода колебаний маятника [1]. Стационарные гравиметры применяются для непрерывной регистрации лунно-солнечных приливных изменений для ускорения силы тяжести и предназначены для абсолютных измерений[2]. Для измерения ускорения силы тяжести в движении существуют гравиметры струнного типа, которые практически безынерционны и характеризуются малым смещением нуля и высокой помехоустойчивостью. Недостатком струнных гравиметров является восприимчивость к вибрациям. Существуют такие струнные гравиметры как ГНУ-КВ с точностью измерения 0,03 мГл и инерционностью 3 мин. или CG-5 Autograv с точностью измерения 0,005 мГл и инерционностью 40 мин. Благодаря им, мы можем наблюдать за изменением ускорения силы тяжести во время солнечного затмения или других измерений в ближнем космосе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торге.В. Гравиметрия. Москва, 1999.
2. Веселов К.Е. Гравиметрическая съемка. Москва.:Недра, 1986.

MEANS OF MOBILE GRAVIMETRY

A.O. Golovenko, I.S.Kovin

(South Ural State University (national research university))

For the purpose of measurement or real-time observations considered metrological characteristics mobile gravimeters.

СЕКЦИЯ 3. АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Сопредседатели: Ключев Д.С. д.ф.-м.н. (Самара);

Разиньков С.Н. д.ф.-м.н. (Воронеж);

Седельников Ю.Е. д.т.н. (Казань).

УДК 537.86 + 621.396.67

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В ПОДЗЕМНЫХ КВ-АНТЕННАХ

Бузов А.Л., Нещерет А.М.

(АО «Концерн «Автоматика»)

Особое место в сетях ДКМВ-радиосвязи специального назначения занимают защищенные радиокомплексы, в составе которых, как правило, используются подземные антенны. Существенным недостатком этих антенн является низкий КПД, вследствие которого, эффективность их излучения относительно невелика. Поэтому поиск новых подходов к улучшению характеристик подземных антенн является важной и актуальной задачей.

Перспективное направление в области совершенствования характеристик антенн в настоящее время связано с применением метаматериалов, доказавших свою эффективность в диапазонах СВЧ и КВЧ [1]. В настоящей работе была поставлена задача исследовать защищенные антенные системы ДКВМ диапазона, в конструкции которых дополнительно включены метаматериалы.

Была рассмотрена подземная антенна [2], представляющая собой два ортогональных турникетных излучателя (рис. 1), расположенных в монолитном укрытии. Исследованы два варианта расположения излучателя: над и под слоем метаматериала. В качестве метаматериала использован асфальтобетон с включением периодически расположенных

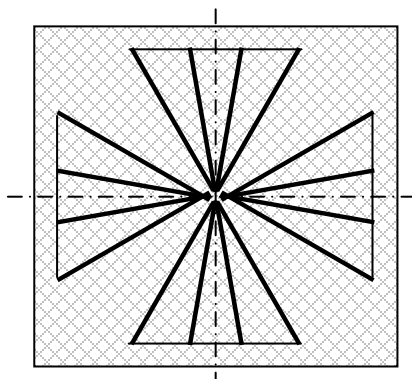


Рис. 1 –Подземная антенна

хаотически ориентированных спиралей. Резонансная частота полученного кирального метаматериала определялась по известным формулам [3].

Электродинамический анализ антенн проводился в

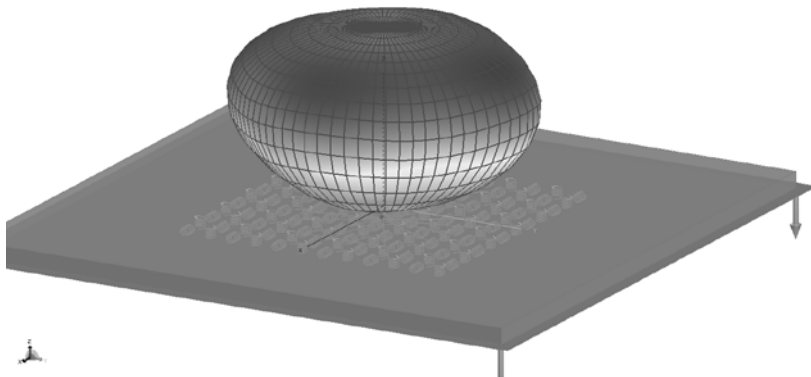


Рис. 2 – Общий вид модели и ДН для случая расположения излучателя под слоем метаматериала

программном комплексе ФЕКО, использующем для расчета характеристик метод моментов (МоМ). В качестве примера, на рис. 2 приведен общий вид диаграммы направленности (ДН) для варианта структуры антенны, в котором излучатель расположен под слоем метаматериала.

Расчеты показали, что коэффициент усиления (КУ) антенны, в зависимости от конкретной геометрии антенны и укрытия, может быть увеличен в 2,5...4 раза. При этом более перспективным является вариант структуры, при котором излучатель расположен над слоем метаматериала, т.к. при этом наблюдается как повышение КУ, так и улучшение согласования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: основные принципы и результаты // Первая миля. – 2010. – № 3-4. – С. 44-60.
2. Кольчугин Ю.И. Способы повышения эффективности работы подземных антенн СЧ и ВЧ диапазонов // Вестник СОНИИР. – 2005. - №4 (10). – С.48-52.
3. Ключев Д.С., Нещерет А.М., Осипов О.В., Почепцов А.О. Анализ микрополосковой антенны на киральной подложке с

учетом пространственной дисперсии // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. - № 11 . – С. 67-72.

**PROSPECTS FOR USE OF METALS IN
UNDERGROUND HF ANTENNAS**

Buzov A.L., Neshcheret A.M.

(JSC “Concern “Automation”)

In the report, a study is made of various variants of the structures of the underground antennas of the HF band, including chiral metamaterials in their design. In particular, two variants of the structure of underground antenna systems are considered, namely, in the case of a radiator position above the metamaterial layer and under the metamaterial layer. A diagram of the directionality for a structure with an emitter arrangement under a metamaterial layer is given. A comparative analysis of the characteristics of the subterranean antennas under consideration was carried out, the result of which was determined the best variant of the structure.

УДК 621.396

**ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ
СПУТНИКОВОЙ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ
АПЕРТУРОЙ**

Неклюдов Е.В., Пономарёв Л.И., Васин А.А.

*(ФГБОУ ВО Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет))*

Рассматривается возможность построения антенного модуля для использования в двухполяризационной ФАР спутниковой РЛС с синтезированной апертурой.

Модуль представляет собой линейку из четырех излучателей, запитываемых синфазно с помощью коаксиальных делителей мощности на четыре канала. Для каждой поляризации излучаемого поля используется свой коаксиальный делитель.

Основными требованиями, предъявляемыми к антенному модулю, являются малые поперечные габаритные размеры излучателей, входящих в модуль, возможность независимого формирования ДН по двум взаимно ортогональным линейным

поляризациям, хорошее согласование по каждому входу в полосе частот $\pm 3\%$ и высокий уровень развязки между входами.

В качестве отдельного элемента модуля был выбран рупорно-волноводный излучатель с квадратным раскрывом. Нижняя часть излучателя представляет прямоугольный короткозамкнутый волновод, переходящий в верхней части излучателя в Е-секториальный рупор с квадратной апертурой. Излучатель запитывается с помощью коаксиально-штыревых возбuditелей, расположенных взаимно ортогонально в прямоугольном волноводе и рупоре. С использованием электродинамического моделирования были оптимизированы поперечные размеры апертуры излучателя в интервале $0,59\lambda$ – $0,62\lambda$ (λ – длина волны), места включения штырей, длины прямоугольного волновода и рупора, а также системы питания модуля по каждой поляризации излучаемого поля. При этом общая длина излучателя модуля не превышала λ .

В докладе приводятся результаты моделирования КСВ по обоим входам четырехэлементного модуля и коэффициента развязки между входами в полосе частот, а также ДН антенны по каждой поляризационной составляющей в двух взаимно ортогональных плоскостях.

**DUAL-POLARIZED ANTENNA MODULE FOR
SATELLITE RADAR WITH SYNTHESIZED APERTURE**

Neklyudov E.V., Ponomarev L.I., Vasin A.A.

(Moscow aviation institute

(National research university))

We propose the small-size dual-polarized radiator with high isolation, it is intended for use in a phased array with a wide scanning sector. Such radiator can also be used to construct an active phased array for satellite radars with synthesized aperture. It has been optimized geometrical parameters of the radiator and the four-element module, as well as their general antenna characteristics. The optimization results for the main characteristics of the radiator and the four-element module (VSWR, coefficient of isolation $|S_{12}|$, directivity, beam shape) are shown in the 6% frequency region, operating in X-band.

УДК 621.371/.372

К ВОПРОСУ ОБ АСИММЕТРИИ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПРИЕМА ФАЗЫ СИГНАЛА НА ТРАССЕ ГАВАЙИ – ХАБАРОВСК

Нестеров В.И.

(Тихоокеанский государственный университет)

В работе [1] указывается на хорошо заметную восходно-заходную асимметрию. Результаты были получены с помощью искусственных периодических неоднородностей, созданных полем мощной стоячей радиоволны. Как указано в данной работе, наиболее ярко асимметрия проявляется при зенитном угле $\chi = 89^\circ$.

Для анализа изменения фазы принимаемого сигнала от зенитного угла Солнца рассматривались усредненные на декадном интервале времени суточный ход фазы для трассы распространения Гавайи – Хабаровск. Длина трассы – 6.570 Мм. Выбор усреднения на декадном интервале обусловлен значительным изменением склонения Солнца и наличием уравнивания времени, которые могут привести к значительной величине среднеквадратического отклонения, особенно в переходные процессы на трассе.

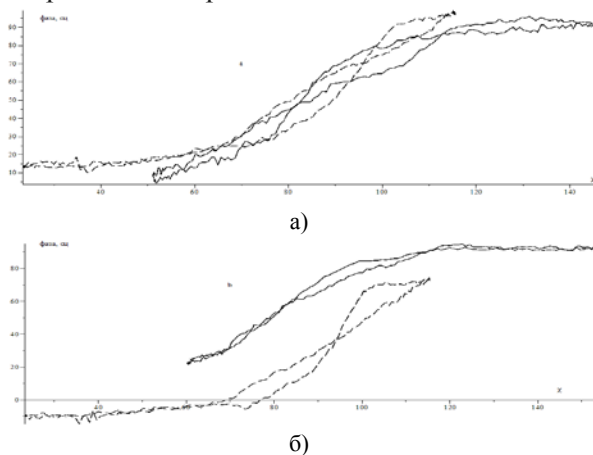


Рис.1. Зависимость фазы сигнала от зенитного угла Солнца для разных частот и периодов года (сплошная линия – зима, штриховая линия – лето, а – частота 10.2 кГц, б – частота 13.6 кГц).

Как видно из рисунка 1, в период равноосвещенности трассы как заходная, так и восходная ветви в пределах погрешности измерений практически повторяют друг друга. А вот в переходный период асимметрия в большей степени проявляется на частоте 13.6 кГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Беликович В.В., Бенедиктов Е.А. Исследование сумеречной D-области ионосферы с помощью искусственных периодических неоднородностей.//Известия вузов. Радиофизика., том XLV, №6, 2002. – С.502-508.

TO THE ISSUE OF ASYMMETRY OF THE IONOSPHERE BY THE RECEPTION DATA SIGNAL PHASES AT THE HAWAII - Khabarovsk PAINT

Nesterov V.I.

(Pacific National University)

The dependence of the phase of the received signal on the Hawaii-Khabarovsk path examines from the zenith angle of the Sun.

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ ПОДВИЖНЫХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ПРОТЯЖЕННЫХ ЭКРАНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА МАРКОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Телегин С.С.

(АО «Концерн «Автоматика»)

При решении задач обеспечения подвижной радиосвязи в протяженных экранированных сооружениях возникает необходимость анализа сложных, электрически протяженных электродинамических систем [1]. При этом, в случаях когда движение хотя бы одного из источников носит (псевдо-)случайный характер, применение классических точных методов электродинамического анализа представляется нецелесообразным.

Например, представим подвижный сосредоточенный источник внутри протяженного экранированного сооружения. Движение подвижного источника внутри экранированного объема

зависит от множества факторов, которые невозможно учесть строгим образом.

В предположении, что такой источник имеет стабилизацию по двум осям, движение вдоль третьей удобно описывать с использованием модели одномерного броуновского движения. Последнее описывается уравнением Ланжевена вида

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{d\varphi(x)}{dx} + \xi(t), \quad (1)$$

где $\varphi(x)$ – потенциал силового поля с нулевым уровнем в точке $x=0$, $\xi(t)$ – дельта-коррелированный случайный процесс с нулевым средним и интенсивностью D .

Как показано в [2], в таком случае корреляционную функцию можно записать в следующем виде:

$$K(\tau) = \sum_{n=0}^{N-2} (\mathbf{x}, \mathbf{y}^{(n)})^2 \exp(\lambda_n \tau) \quad (2)$$

Знание корреляционной функции позволяет, например, оценить вероятность разрыва связи с подвижным сосредоточенным источником. Таким образом, предлагаемый подход позволит существенно облегчить решение задачи обеспечения многодиапазонной подвижной радиосвязи в протяженных экранированных сооружениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Ю. Аронов, М.А. Бузова, М.В. Загвоздкин, С.С. Телегин Использование комбинированных методов электродинамического анализа для решения задач обеспечения электромагнитной совместимости, информационной и электромагнитной безопасности // Радиотехника (журнал в журнале). – 2016. – № 4. – С. 64 – 68.
2. Телегин С.С. Метод расчета корреляционных функций Марковских случайных процессов // Труды НИИР. – 2010. – № 2. – С. 87 – 90.

MODELING OF MOBILE POINT SOURCES IN LARGE SHIELDED STRUCTURES USING MARKOV PROCESSES MODEL

Telegin S.S.

(JSC “Concern “Automation”)

Summary. Here it is suggested using Markov processes model while analyzing mobile point sources in large shielded structures.

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ПРОТЯЖЕННЫХ ЭКРАНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МОНТЕКАРЛО

Телегин С.С.

(АО «Концерн «Автоматика»)

При решении задач обеспечения подвижной радиосвязи в протяженных экранированных сооружениях возникает необходимость анализа сложных, электрически протяженных электродинамических систем, осуществление которого строгими методами крайне затруднительно в силу их высокой ресурсоемкости. Часто, в качестве решения проблемы используются комбинированные методы электродинамического анализа [1].

Однако, для ряда задач подобный подход оказывается избыточным. Например, при анализе возможных каналов утечки информации из протяженного экранированного сооружения решение, описывающее поле внутри такого сооружения является избыточным, а для получения поля снаружи возможно использовать достаточно простые приближения и методы статистики. В частности, подход на основе применения метода Монте Карло для анализа апертурных случайных антенн рассмотрен в [2].

В рамках данного доклада показано развитие упомянутого выше подхода для анализа каналов утечки информации в случаях, когда излучатель находится на достаточном удалении от возможного канала утечки (окно в конце коридора, вентиляционной шахты и т.п.)

Показано, что использование такого подхода обеспечит сокращение вычислительных затрат при моделировании каналов утечки в протяженных экранированных сооружениях с сохранением точности решения, приемлемой для каждого класса задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Ю. Аронов, М.А. Бузова, М.В. Загвоздкин, С.С. Телегин
Использование комбинированных методов электродинамического анализа для решения задач обеспечения электромагнитной совместимости, информационной и электромагнитной

безопасности // Радиотехника (журнал в журнале). – 2016. – № 4. – С. 64 – 68.

2. Заседателяева П.С., Маслов О.Н., Раков А.С., Силкин А.А. Взаимодействие случайных антенн, размещенных в многоэтажном офисном здании / Инфокоммуникационные технологии. – 2013. – Т. 11. – № 3. – С. 83 – 86.

MODELING INFORMATION LEAKS FROM LARGE SHIELDED STRUCTURES USING MONTE CARLO METHOD

Telegin S.S.

(JSC “Concern “Automation”)

Summary. Here it is suggested using Monte Carlo method while analyzing information leaks from large shielded structures.

УДК 537.86 + 621.396.67

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПОЛЯ И МЕТОДА МОМЕНТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР С КИРАЛЬНЫМИ СРЕДАМИ

Бадалов В.В., Копылов Д.А., Назин В.Ю., Нещерет А.М.

(АО «Концерн «Автоматика»)

В современной радиотехнике все большой интерес вызывают исследования, связанные с возможностями использования метаматериалов в СВЧ и КВЧ устройствах. Особое внимание уделено исследованию микрополосковых излучающих структур, в связи с тем, что, как показывают результаты исследований, использование метаматериалов в составе данных структур позволяет улучшить их электродинамические характеристики, а также уменьшить размеры [1].

Однако при этом возникает ряд сложностей, связанных с электродинамическим анализом и синтезом подобных структур, так как существующие методы не обладают достаточной устойчивостью для получения достоверного решения, а программные комплексы электродинамического моделирования (Feko, CST Studio, HFSS и пр.) весьма требовательны к вычислительным ресурсам. К тому же, как показывает практика,

данные комплексы не всегда корректно работают с резонансными структурами, к коим относятся и метаматериалы.

В настоящей работе было произведено сравнение электрических характеристик тестовой электродинамической модели, представляющей собой плоский излучатель, расположенный на подложке из кирального метаматериала, рассчитанной различными методами. В первом случае расчет характеристик модели производился методом сингулярных интегральных представлений поля (СИП), подробно описанном в работе [2], и реализованным в среде MathCAD 14, а во втором случае – методом моментов (МоМ), реализованным в программном комплексе Feko.

На рис. 1 (а) приведен график зависимости действительной части входного импеданса от частоты, полученный методом СИП, а на рис. 1 (б) – аналогичный график, только уже полученный с помощью программного комплекса Feko.

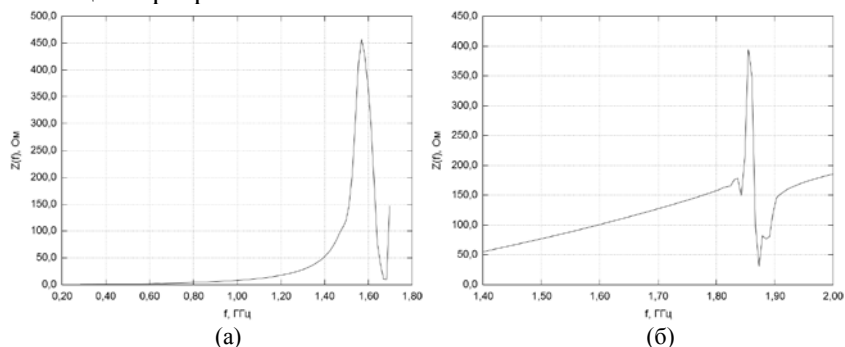


Рис. 1

Из данных графиков видно, что, не смотря на численные расхождения, характер зависимости входного сопротивления от частоты в целом совпадает в обоих случаях. В свою очередь, численные расхождения можно объяснить, как минимум двумя причинами, во-первых, используемые в методе СИП дисперсионные модели [2] являются достаточно упрощенными, в связи с чем, резонансные частоты могут не совпадать, а, во-вторых, погрешностью вычисления, как метода моментов, так и метода СИП.

Вместе с тем следует отметить, что время вычисления в случае использования метода СИП в 7 раз меньше, чем в случае с

FeKo. Кроме того, использование оперативной памяти в случае расчета методом СИП также в несколько раз меньше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слюсар В. Метаматериалы в антенной технике: основные принципы и результаты // Первая миля. – 2010. – № 3-4. – С. 44-60.
2. Ключев Д.С., Нещерет А.М., Осипов О.В., Почепцов А.О. Анализ микрополосковой антенны на киральной подложке с учетом пространственной дисперсии // Успехи современной радиоэлектроники. – 2015. - № 11. – С. 67-72.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE METHOD OF INTEGRAL REPRESENTATIONS OF THE FIELD AND THE METHOD OF MOMENTS IN THE ANALYSIS OF RADIATING STRUCTURES WITH CHIRAL MEDIA

Badalov V.V., Kopylov D.A., Nazin V.Yu., Neshcheret A.M.
(JSC “Concern “Automation”)

The report shows impedance characteristics of microstrip radiating structure to the substrate of the chiral metamaterial calculated by the methods of singular integral representations of the field and the method of moments. As shown by the analysis of the obtained results, the dependence of the input impedance as a whole is the same in both cases. However, the method of singular representations of the field is less demanding of computing resources.

УДК 621.396.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК, СФОКУСИРОВАННЫХ В СРЕДЕ С ПОТЕРЯМИ

Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р.

(Поволжский государственный технологический университет)

Свойства антенных решеток, сфокусированных в зоне ближнего излученного поля достаточно хорошо известны и описаны, например в [1]. Однако вопросы, связанные с фокусировкой излучения объемной антенной решетки в среде с потерями исследованы не столь детально. Важным является то обстоятельство, что подобного рода среды способны оказывать значительное влияние на распространение в них электромагнитных

волн, вызывая поглощение их энергии. Мету подобных потерь определяют электрофизические параметры сред, которые зависят от их состава, температуры, влажности и т.п. [2]. Важным является учет влияния параметров среды с потерями на свойства сфокусированной антенной решетки.

При реализации математической модели в качестве поверхности, ограничивающей размеры объемной антенной решетки, выберем сферу, а базовые параметры модели антенной решетки будем считать следующими:

1. Число излучателей – $n=20$;
 2. Радиус ограничивающей сферы – 1000 м.;
 3. Расстояние до точки фокусировки – 10 км и 30 км;
 4. Ток в антенне парциального излучателя 0,1 А;
 5. Закон распределения координат парциальных излучателей антенной решетки по координатным осям – равномерный.
- Тогда формула для расчета напряженности сфокусированного электромагнитного поля в среде с потерями можно записать в виде

$$E_{\Phi}(t, u, v, \alpha) = \left| \sum_{q=1}^n \frac{I_q e^{-jk \left(\sqrt{(x_{\Phi}-t)^2 + (y_{\Phi}-u)^2 + (z_{\Phi}-v)^2} - R_{\Phi} \right)} \cdot e^{-\alpha \sqrt{(x_{\Phi}-t)^2 + (y_{\Phi}-u)^2 + (z_{\Phi}-v)^2}}}{\sqrt{(x_{\Phi}-t)^2 + (y_{\Phi}-u)^2 + (z_{\Phi}-v)^2}} \right| \quad (1)$$

где k – волновое число, t, u, v – переменные координаты по осям ОХ, ОУ и ОZ, $x_{\Phi}, y_{\Phi}, z_{\Phi}$ – координаты точки фокусировки, α – коэффициент затухания в среде распространения.

Поле одиночного излучателя запишем в виде формулы

$$E_0(t, u, v, \alpha) = \left| \frac{I_0 e^{-jk \sqrt{t^2 + u^2 + v^2}} \cdot e^{-\alpha \sqrt{t^2 + u^2 + v^2}}}{\sqrt{t^2 + u^2 + v^2}} \right|, \quad (2)$$

Интерес представляет сравнение в точке фокусировки напряженностей электромагнитного поля, распространяющегося в среде с потерями, сформированных одиночным излучателем и сфокусированной антенной решеткой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант №15-19-10053)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин, Д.А. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18-31.
2. Яковлев, О.И. Распространение радиоволн / О.И. Яковлев, В.П. Якубов, В.П. Урядов, А.Г. Павельев // Учебник под ред. О.И. Яковлева –М.: ЛЕНАНД, 2009 – 496 с.

SIMULATION OF ANTENNA ARRAYS, FOCUSED IN THE SUBSTANCES WITH LOSSES

Vedenkin D.A., Nasybullin A.R.

(Volga State Technical University of Technology)

The report reviews features of creating mathematical model of antenna array, focused in the near radiated field zone in substance with losses.

УДК 621.396.6

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК, СФОКУСИРОВАННЫХ В СРЕДЕ С ПОТЕРЯМИ

Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р.

(Поволжский государственный технологический университет)

Воспользовавшись формулами для оценки напряженностей полей, сформированных сфокусированной антенной решеткой и одиночным излучателем построим распределение напряженности поля в окрестности точки фокусировки, расположенной на расстоянии 10 км от условного центра антенны (рис. 1).

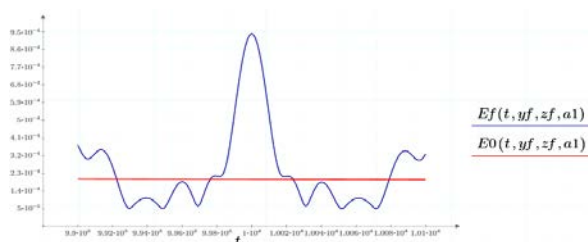


Рис. 1. Распределение напряженности поля в окрестности точки фокусировки вдоль оси ОХ для сфокусированной антенной решетки и одиночного излучателя.

График, приведенный на рис. 1 свидетельствует о превышении напряженности электромагнитного поля на величину порядка $\sqrt{n}$ при использовании сфокусированной апертуры, что хорошо согласуется с данными [1]. Рассчитаем и построим графики напряженности сфокусированного поля при различных значениях коэффициента затухания $\alpha_1 = 10^{-4}$, $\alpha_2 = 10^{-5}$, $\alpha_3 = 10^{-6}$ Результаты представим на рис. 2

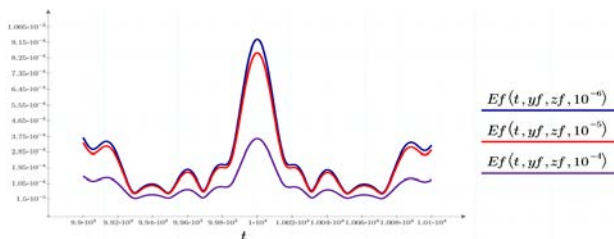


Рис. 2. Распределение напряженности поля в окрестности точки фокусировки вдоль оси ОХ для сфокусированной антенной решетки при различных значениях коэффициента затухания.

Как видно из графиков, представленных на рис. 2, коэффициент затухания среды вносит существенный вклад в возможность и эффективность фокусировки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Грант №15-19-10053).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин, Д.А. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного

технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18-31.

**RESULTS OF SIMULATION OF ANTENNA ARRAYS, FOCUSED IN
THE SUBSTANCES WITH LOSSES**

Vedenkin D.A., Nasybullin A.R.

(Volga State Technical University of Technology)

The report reviews results of mathematical simulation of antenna array, focused in the near radiated field zone in substance with losses.

УДК 621.396

**ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В
ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 4.
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

**Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И.,
Веденькин Д.А.**

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

В данном тезисе рассмотрены понятия электромагнитной обстановки и электромагнитной экологии, также выведен алгоритм оценки электромагнитной обстановки внутри помещения.

При процессе фокусировки электромагнитной энергии в заданную точку пространства необходимо обеспечивать электромагнитную безопасность, так как любое техническое устройство создает электромагнитные поля различной интенсивности, зависящей от определенной области пространства (свободной или замкнутой), частоте передаваемого сигнала и интервалов времени.

Проблема распределения ЭМ энергии в жилом помещении является очень важной, поэтому необходимо учитывать электромагнитную обстановку в ограниченном пространстве. Данный вопрос рассматривается в обеспечении электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. Первая

предназначена для качественной, одновременной и совместной работы различных технических средств при воздействии электромагнитных помех. Вторая направлена на изучение влияния генерируемых полей на живые организмы и факторов загрязнения окружающей среды излучающей энергией. Значительное количество технических устройств, которые изменяют электромагнитную обстановку в помещении.

Чтобы правильно оценить электромагнитную обстановку в помещении, необходимо установить определенный алгоритм: знать сведения о технических устройствах, расположенных в помещении, их классификации; разработать электродинамическую модель различных источников воздействия; учесть, что помещение ограничено, определить единый критерий, который будет удобен для оценки электромагнитной обстановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Седельников Ю. Е. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / Ю. Е. Седельников, Д.А.Веденькин. – К. : ООО «Новое знание», 2016. – 19, 20, 307, 311 с.
2. Маслов М. Ю. Исследование электромагнитных полей в помещениях для целей электромагнитной и информационной безопасности : автореф. дис. канд-та тех. наук / М. Ю. Маслов – Самара, 2003. – 4 с.
3. Веденькин, Д.А. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18-31.

THE FOCUSING OF ELECTROMAGNETIC ENERGY IN CLOSED SPACE. PART 4. THE ELECTROMAGNETIC SAFETY

Yulusheva A.I., Akulinin D.M., Gimadiev D.I

Scientific Adviser: Vedenkin D.A.

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

Abstract: in this a thesis concepts of an electromagnetic situation and electromagnetic ecology are considered, also the algorithm of assessment of an electromagnetic situation indoors is removed.

УДК 621.396

ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 3. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И.,
Веденькин Д.А.**

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

Аннотация: в данном тезисе представлен анализ электромагнитной обстановки в помещении прямоугольной формы без учета влияния местных предметов, разработанная на основе лучевого метода распределения сигналов в замкнутом пространстве.

Распространение электромагнитных волн в замкнутом пространстве значительно отличается от свободного пространства, так как присутствует явление многолучевости.

Было выбрано три излучателя, которые находились на потолке в разных углах прямоугольной комнаты, координаты которых заранее были известны и заданы, они соответствовали размерам комнаты в выбранной координатной плоскости (рис.1.).

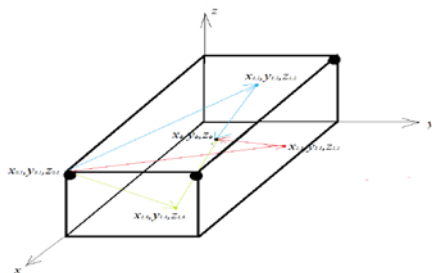


Рис.1. Схематическое изображение лучей, которые отражаются от трех плоскостей (двух стен и пола) при работе первого излучателя

С помощью математической модели напряженности электромагнитного поля в замкнутом пространстве были получены графики размера области фокусировки ЭМП при значении координат точки фокусировки.

При таком положении излучателей по оси Z происходят значительные искажения, которые увеличиваются при изменении всех координат точки фокусировки. Это связано с тем, что излучатели расположены в одной плоскости (горизонтальной). Поэтому необходимо рассмотреть другое расположение

излучателей, чтобы добиться максимальной интенсивности электромагнитной энергии в точке фокусировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. С.В. Катин, Е.А. Шорохова, В.А. Яшнов. Математическая модель электромагнитной обстановки внутри ограниченного пространства // Радиотехника, системы телекоммуникаций, антенны и устройства СВЧ. – 2013.

2. Веденькин Д.С. Активные сфокусированные антенные решётки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Д.С. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2006. – № 4. – С. 60–66.

THE FOCUSING OF ELECTROMAGNETIC ENERGY IN CLOSED SPACE. PART 3. THE ANALYSIS OF MATHEMATICAL SIMULATION

Yulusheva A.I., Akulinin D.M., Gimadiev D.I

Scientific Adviser: Vedenkin D.A.

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

Abstract: in this thesis the analysis of an electromagnetic situation in a rectangular form without taking note of local objects, developed on the basis of a ray method of distribution of signals in closed space is provided.

УДК 621.396

**ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В
ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 2.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

***Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И.,
Веденькин Д.А.***

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

Аннотация: в данном тезисе представлена математическая модель электромагнитной обстановки в помещении прямоугольной формы без учета влияния местных предметов, разработанная на основе

лучевого метода распределения сигналов в замкнутом пространстве.

Распространение электромагнитных волн в замкнутом пространстве значительно отличается от свободного пространства, так как присутствует явление многолучевости.

Чтобы учесть данное явление в работе была использована лучевая модель распространения радиоволн внутри помещения, так она учитывает отражение от стен и дифракция на границах препятствий.

Рассмотрим алгоритм расчета напряженности электромагнитного поля в помещении прямоугольной формы без учета влияния местных предметов с заданными параметрами при однократном отражении от стен и потолка.

Зависимость напряженности электромагнитного поля в замкнутом пространстве выражена:

$$E_{\Phi}(x, y, z) = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^3 \frac{I_i \cdot e^{-jk1[R\Phi_{0,i} - R\tau(x,y,z)_{k,i} - Lm_k]} \cdot L_k}{R\tau(x, y, z)_{k,i}} \right]^2},$$

где $R\Phi_{0,i}$ – прямое расстояние от излучателей до точки фокусировки, $R\tau_{k,i}$ – расстояние от излучателей с учетом одного отражения от стен и пола до точки фокусировки, Lm_k – коэффициент, учитывающий изменение фазы на 180° при отражении ЭМ сигнала, L_k – коэффициент, учитывающий долю прохождения и отражения ЭМ сигнала, $k1$ – волновое число. Нижний индекс i означает номер излучателя, а k – номер луча.

В заключение хотелось бы отметить несколько важных моментов, связанных с использованием разработанной математической модели. Очевидно, что данная формула не может в полной мере учесть все факторы, влияющие на структуру отраженных полей в ограниченном пространстве, даже однократное отражение сильно влияет на значение напряженности в точке фокусировки. А в реальном исполнении их намного больше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. С.В. Катин, Е.А. Шорохова, В.А. Яшнов. Математическая модель электромагнитной обстановки внутри ограниченного

пространства // Радиотехника, системы телекоммуникаций, антенны и устройства СВЧ. – 2013.

2. Веденькин Д.С. Активные сфокусированные антенные решётки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов / Д.С. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2006. – № 4. – С. 60–66.

THE FOCUSING OF ELECTROMAGNETIC ENERGY IN CLOSED SPACE. PART 2. THE MATHEMATICAL SIMULATION

Yulusheva A.I., Akulinin D.M., Gimadiev D.I

Scientific Adviser: Vedenkin D.A.

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

Abstract: in this thesis the mathematical model of an electromagnetic situation in a rectangular form without taking note of local objects developed on the basis of a ray method of distribution of signals in closed space is provided.

УДК 621.396

**ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В
ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 1. МОДЕЛИ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН**

***Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И.,
Веденькин Д.А.***

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

Аннотация: в данной статье описаны модели отраженных электромагнитных волн внутри помещения в задачах фокусировки СВЧ энергии.

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме распространения радиоволн внутри здания и помещения из-за широкого применения локальных беспроводных сетей. Основным эффектом, наблюдаемым при распространении радиоволн внутри помещений, является многолучевость, обусловленная многократными отражениями радиоволн от стен и других объектов, дифракция на многочисленных острых кромках

предметов, расположенных внутри комнаты, и рассеяние радиоволн.

Статистические модели не требуют полной информации о здании кроме общего описания его типа. Такая модель применяется в программном пакете и характеризуется быстротой расчетов, при выполнении которых требуется определить только расстояние между антеннами – все другие параметры и константы относятся ко всему зданию в целом и задаются предварительно. Эмпирические одно- или многолучевые модели основаны на анализе одного или нескольких лучей, соединяющих передающую и приемную антенны, для оценки уровня принимаемого сигнала. В лучевых моделях используется квазиоптическое представление процессов распространения сигналов и учитываются отражения от стен помещения и дифракция на границах препятствий. Наиболее точными являются численные модели, основанные на применении различных методов решения уравнений Максвелла в дифференциальной или интегральной формах. Численными методами моделирования распространения радиоволн являются методы численного решения уравнений Максвелла (FDTD, FEM, FIT и др.).

Каждый из этих методов обладает рядом преимуществ и недостатков, но чтобы добиться наилучшего результата используют совокупности данных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гавриленко В.Б. Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи/ В.Б. Гавриленко, В.А. Яшнов. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный университет, 2003. – 148 с.
2. Веденькин, Д.А. Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля / Д.А. Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22-29.

THE FOCUSING OF ELECTROMAGNETIC ENERGY IN CLOSED SPACE. PART 1. MODELS OF DISTRIBUTION OF ELECTROMAGNETIC WAVES

**Yulusheva A.I., Akulinin D.M., Gimadiev D.I.,
Vedenkin D.A.**

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

Abstract: in this a thesis concepts of an electromagnetic situation and electromagnetic ecology are considered, also the algorithm of assessment of an electromagnetic situation indoors is removed.

УДК 621.396

**ПРИНЦИПЫ ФОКУСИРОВКИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СВОБОДНОМ
ПРОСТРАНСТВЕ**

**Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И.,
Веденькин Д.А.**

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

В данном тезисе описаны принципы фокусировки электромагнитных волн в свободном пространстве.

Первые научные труды, посвященные эффекту фокусировки электромагнитного поля можно отнести к концу 50-х годов прошлого века. В них рассматриваются общие принципы организации сфокусированного поля в т. н. зоне Френеля. В данной модели распространения радиоволн плоскость разделяется на области, в которых вторичные источники, расположенные на двух границах соседних зон, излучают волны, приходящие в точку наблюдения в противофазе. С помощью данного принципа можно сделать вывод о том, что существует область пространства, в которой распространяются радиоволны.

Сейчас применение фокусирования электромагнитной энергии встречается довольно часто, что повлекло за собой значительное увеличения числа технических средств, в которых электромагнитное излучение фокусируется в заданную локальную область пространства при расстояниях, приближенных к размерам излучающей системы.

Фокусировка электромагнитного поля в заданной области пространства предназначена для увеличения концентрации электромагнитного излучения. Поэтому модуль напряженности электрического поля в пространстве имеет максимум в точке фокусировки, а за ее пределами интенсивность электромагнитного излучения уменьшается.

Чтобы решить необходимые задачи процесса фокусирования электромагнитных волн, всегда устанавливают жесткие требования к определенным параметрам и характеристикам радиотехнической системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Веденькин, Д.А. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения / Д.А. Веденькин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 1 (29). С. 18-31.

2. Веденькин, Д.А. Случайные разреженные когерентные антенные решётки, сфокусированные в зоне ближнего излучённого поля / Д.А. Веденькин, А.Р. Насыбуллин, Ю.Е. Седельников // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 4 (32). С. 22-29.

3. Веденькин, Д.А. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток / Ю.Е. Седельников // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56-59.

THE PRINCIPLES OF FOCUSING OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN THE FREE SPACE

Yulusheva A.I., Akulinin D.M., Gimadiev D.I

Scientific Adviser: Vedenkin D.A.

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

Abstract: in this thesis the principles of focusing of electromagnetic waves in the free space are described.

УДК 621.396.67

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕШЕТКИ И СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ОШИБКИ ПЕЛЕНГАТОРА ДИАПАЗОНА КОРОТКИХ ВОЛН

Разиньков С. Н., Бельских Н. В., Федоров А. В.

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

В качестве антенных систем стационарных пеленгаторов диапазона коротких волн находят применение решетки вертикальных логопериодических вибраторных антенн (ЛПВА). При ширине диаграмм направленности (ДН) в плоскости угла места $50...70^\circ$ они позволяют принимать сигналы, распространяющиеся по ионосферным каналам от источников, удаленных до 10000 км [1].

В предлагаемой работе использованием интегральных уравнений Халлена [2] построена математическая модель решетки ЛПВА, элементы которых через фазовращатели подключены к распределительной линии в точках закрепления на земной поверхности.

В состав решетки входят:

- 6 антенн первой группы, расположенных на радиальных лучах и предназначенных для определения сектора возможных угловых положений источника радиоизлучения с точностью до половины ширины ДН путем сопоставления уровней сигналов на их входах;

- 12 антенн второй группы, образующих совместно с антеннами первой группы 6 подсистем для высокоточного пеленгования объектов фазовым методом [1]. При этом каждая из 6 пар антенн второй группы располагается параллельно антенне первой группы, используемой для определения сектор нахождения объекта.

На основе частичного обращения оператора краевой задачи методом Крылова-Боголюбова [2] выявлены закономерности формирования ДН решетки при возбуждении плоской монохроматической волной.

Установлено, что эффективно возбуждаются элементы ЛПВА резонансной длины и расположенные вблизи них; для других вибраторов наблюдается эффект автоматической отчески токов, амплитуды которых не превышают $(1...2)\%$ от наибольшего

значения.

Предложен способ снижения эксплуатационной ошибки пеленгатора, основанный на суммарно-разностном преобразовании сигналов на выходах антенн пеленгационной подсистемы для получения нормальных, некоррелированных процессов с одинаковой дисперсией [3] и вычислении по результатам их обработки в соответствии с методом максимального правдоподобия поправок к первичной оценке угловых координат объекта, найденной фазовым методом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вартанесян В.А. Радиоэлектронная разведка. – М.: Воениздат, 1975. – 255 с.
2. Неганов В.А., Осипов О.В., Раевский С.Б., Яровой Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн / Под ред. В.А. Неганова. и С.Б. Раевского. – М.: Радио и связь, 2005. – 648 с.
3. Афанасьев В.И., Разиньков С.Н., Уфаев В.А Точность измерения угловых координат источников радиоизлучения в пеленгаторах с суммарно-разностной обработкой сигналов // Информационно-измерительные и управляющие системы, 2005, № 3. – С. 16-21.

MATHEMATICAL MODEL OF THE LATTICE AND WAY OF DECREASE IN THE OPERATIONAL ERROR OF THE DIRECTION FINDER OF RANGE OF SHORT WAVES

Razin'kov S. N., Bel'skih N. V., Fedorov A. V.

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

With use of Halen's integrated equations the mathematical model of a array of the log-periodic dipole antennas is constructed. On the basis of a method of maximum likelihood the way of decrease in an operational error of direction finder is offered.

УДК 621.396.67.01

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ РЕШЕТОК ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЩЕЛЕВЫХ ВИБРАТОРОВ НА ПОЛУПЛОСКОСТЯХ

Лукин М.Ю.

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

При разработке бортовых радиоэлектронных комплексов возникает необходимость обеспечения направленных свойств их антенных систем в соответствии с требованиями электромагнитной совместимости и устойчивости передачи-приема информации по радиоканалам с учетом экранирующего влияния корпуса носителя.

В предлагаемой работе на основе решения задачи возбуждения элементарных щелевых вибраторов на ограниченных экранах [1] исследованы линейные щелевые решетки, расположенные параллельно и перпендикулярно ребру бесконечно тонкой идеально проводящей полуплоскости. С использованием метода неопределенных множителей Лагранжа [2] проведен синтез решеток с максимальными коэффициентами направленного действия и требуемой формой диаграмм направленности (ДН).

При анализе решеток использовался принцип эквивалентности [1], согласно которому электрическое поле односторонней щели представлялось полем элементарного магнитного вибратора, лежащего на полуплоскости. Расчет излучаемого поля осуществлялся по результатам численного решения краевой задачи возбуждения подстилающей поверхности [1] суперпозицией полей магнитных вибраторов. Токи на полосе определялись из интегральных уравнений, полученных при граничных условиях для задачи излучения электрического вибратора в щели, образованной двумя идеально проводящими полуплоскостями, с шириной, равной ширине полосы. Для токов полуплоскости осуществлялась асимптотическая оценка по распределению токов полосы путем удаления одного из образующих ее ребер на бесконечность [1].

Синтез решеток осуществлялся при контроле ДН для фиксированных угловых положений. В рамках данного подхода, наряду с минимизацией среднеквадратического отклонения главного луча ДН от требуемой формы, обеспечивается контроль уровня излучения в заданных секторах углов [5].

Установлено, что при размещении решетки на

полуплоскости наблюдается асимметрия ее ДН по углу места, убывающая по мере приближения к азимутальному сечению. В азимутальной ДН появляются локальные экстремумы глубиной 0,2...0,5 дБ в секторах углов, ориентированных на ребро, вследствие экранирующего влияния полуплоскости. За счет формирования нулей ДН в направлениях максимумов боковых лепестков происходит расширение главного луча, поэтому положения нулей целесообразно выбирать вблизи минимумов исходной ДН решетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пименов Ю.В., Простаков Е.И. Излучение элементарного электрического вибратора, расположенного у идеально проводящей полосы параллельно ее ребру // Радиотехника и электроника, 1986. – Т. 31. – № 12. – С. 2319-2323.
2. Обуховец В.А., Мельников С.Ю. Оптимизация диаграмм направленности антенных решеток. – В кн.: Рассеяние электромагнитных волн. – Таганрог: ТРТУ, 1999. – С. 93-101.

THE ANALYSIS AND SYNTHESIS OF ARRAYS OF ELEMENTARY SLOT-HOLE VIBRATORS ON HALF-PLANES

Lukin M. Yu.

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

On the basis of the principle of equivalence the analysis of lattices of elementary slot-hole vibrators on half-planes is carried out. With use of a method of uncertain multipliers of Lagrange synthesis of their directional patterns is executed.

УДК 621.396.67

НЕЭКВИДИСТАНТНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ, СФОКУСИРОВАННЫЕ В ОБЛАСТЬ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧАЕМОГО ПОЛЯ

Потапова О.В., Егорова Ю.В.

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

В настоящее время в ряде работ [1, 2] обсуждаются преимущества антенн, в частности антенных решеток, сфокусированных в область ближнего излучаемого поля. Показана

возможность улучшения энергетических характеристик формируемого излучения путем выбора амплитудного определения, учитывающего расположение точки фокусировки. Однако, в случае перемещения точки фокусировки, для достижения наилучших характеристик сфокусированного поля необходимо изменять амплитудное распределение в раскрыве антенны, что, зачастую, связано с техническими трудностями. В данной работе предлагается использовать неэквидистантные антенные решетки, позволяющие за счет изменения своей геометрии воспроизводить характеристики сфокусированного поля при изменении положения точки фокусировки.

В качестве алгоритма формирования геометрии неэквидистантной решетки предлагается использовать метод моментов токов [3]. В работе показывается, что при правильно определенном количестве элементов решетки, характеристики излучения, сфокусированного в область ближнего излучаемого поля, оказываются сопоставимыми с характеристиками, создаваемыми эквидистантной решеткой с неравномерным амплитудным распределением, независимо от расположения точки фокусировки (рис. 1) ($2L=10\lambda$, 1 – неэквидистантная антенная решетка, 2 – непрерывный излучатель с неравномерным распределением).

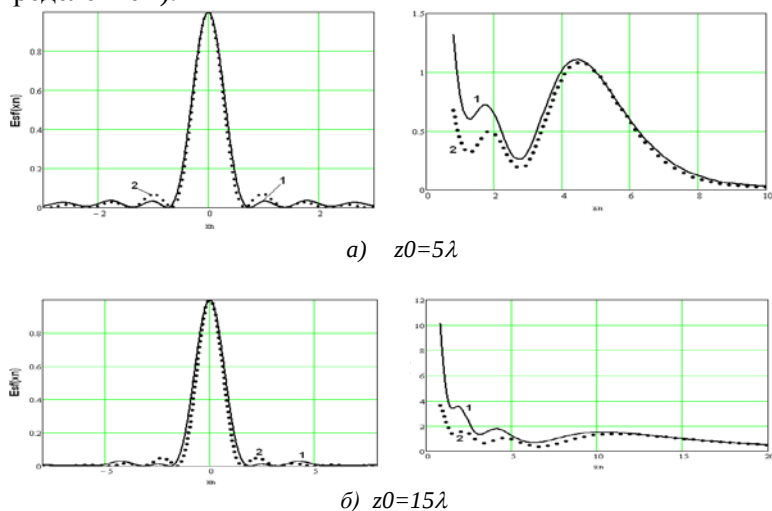


Рис. 1.

Количество излучателей в неэквидистантной антенной решетке зависит от параметра $x1k$, определяющего площадь одинаковых полос, на которые разбивается площадь под кривой, описывающей амплитудное распределение в исходном непрерывном излучателе (рис. 2).

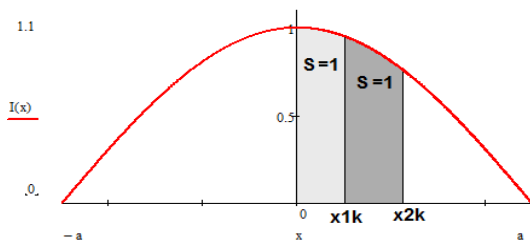


Рис. 2.

Неоптимальный выбор параметра $x1k$ будет приводить к чрезмерно малому числу излучателей в решетке, что приведет к формированию сфокусированного поля с неудовлетворительными характеристиками (рис. 3 кривая 2). Либо наоборот, достаточно большое число излучателей в антенной решетке способно создать сфокусированное поле со сходными с непрерывным излучателем энергетическими характеристиками (рис. 3 кривые 1, 3).

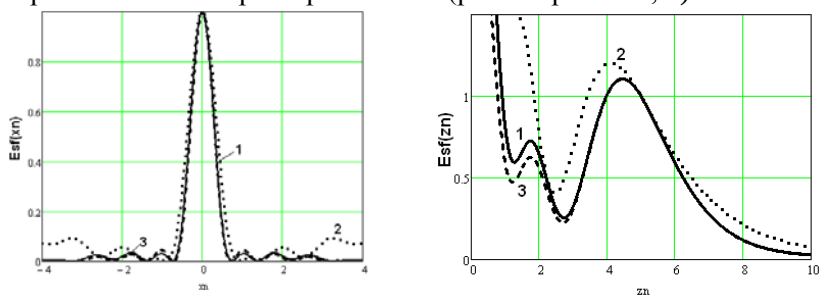


Рис. 3.

Установлено, что существует оптимальное соотношение $x1k/L$, позволяющее получить в неэквидистантных антенных решетках характеристики излучения, сопоставимые с характеристиками сфокусированного поля, создаваемыми эквидистантной решеткой с неравномерным амплитудным распределением, независимо от расположения точки фокусировки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антенны, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля. Основы теории и технические приложения /Под общей редакцией Ю.Е. Седельникова и Н.А. Тестоедова / Ю.Е. Седельников, Н.А. Тестоедов, Д.А. Веденькин, И.Ю. Данилов, О.В. Потапова, А.Г. Романов, Л.Ю. Фадеева, Ю.И. Чони. – Красноярск: Изд-во Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та, 2015, 309 с.
2. Потапова О.В. Сфокусированные апертуры: структура поля и основные свойства / О.В. Потапова, Ю.Е. Седельников /Доклады V Всероссийской научно-технической конференции «Радиолокация и связь». - Москва, 2011, с.291-295.
3. Бененсон Л.С. Антенные решетки. Обзор зарубежных работ. /Под общей редакцией Бененсона Л.С. /Л.С. Бененсон, В.А. Журавлев, С.В. Попов, Г.А. Постнов.- М.: Советское радио, 1966, 367 с.

DENSITY-TAPERED ARRAYS FOCUSED IN NEAR-FIELD RADIATED ZONE

Potapova O.V., Egorova Yu.V.

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

Density-tapered arrays focused in near-field radiated zone are considered in this paper. Algorithm of transformation from equispaced array with nonuniform amplitude distribution to density-tapered arrays with uniform amplitude distribution are proposed.

УДК 537.86 + 621.396.67

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН С КИРАЛЬНЫМИ ПОДЛОЖКАМИ

Клюев Д.С., Коршунов С.А., Нещерет А.М.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Имеется микрополосковая антенна (МПА) (рис. 1), представляющая собой симметричный плоский излучатель,

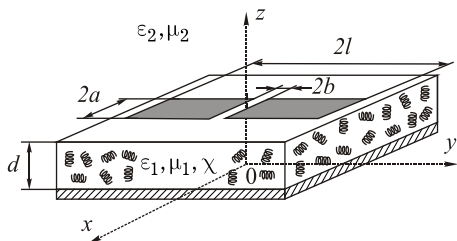


Рис. 1. Геометрия задачи

расположенный на подложке из кирального метаматериала, толщиной d , с односторонней металлизацией.

Макроскопические параметры подложки равны ϵ_1, μ_1, χ , где χ — параметр киральности. Над излучателем располагается диэлектрическое полупространство с

параметрами ϵ_2, μ_2 . Будем считать, что излучатель шириной $2a$ и длиной $2l$, бесконечно тонкий, идеально проводящий, а также достаточно узкий ($2a \ll l, \lambda$), чтобы поперечной составляющей плотности тока можно было пренебречь. В зазор излучателя приложен сторонний источник ЭДС. Предполагается также, что функция распределения плотности тока на полоске является непрерывной в области зазора. В квазистатическом приближении поперечной вариации продольной составляющей плотности тока были получены сингулярные интегральные представления продольных и поперечных составляющих напряженности поля. На рис. 2 приведены нормированные диаграммы направленности (ДН) данной МПА при следующих параметрах: $\epsilon_2 = 1, \mu_1 = \mu_2 = 1, a/\lambda = 0.025, l/\lambda = 0.5, b/\lambda = 0.01, d/\lambda = 0.1$. При этом киральная подложка МПА выполнена на основе «левосторонних» элементов.

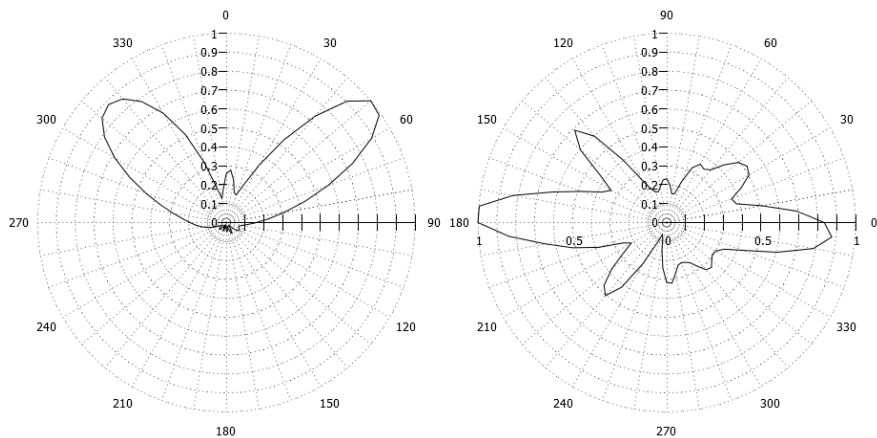


Рис. 2. Нормированные ДН в меридиональной (слева) и азимутальной (справа) плоскостях МПА с киральной подложкой

RADIATION PATTERN OF MICROSTRIP ANTENNAS WITH CHIRAL SUBSTRATE

Klyuev D.S., Korshunov S.A., Neshcheret A.M.

(“Volga state university of telecommunication and informatics”)

Singular integral representations of the radiation field of a microstrip antenna with a chiral substrate are obtained. The radiation patterns of such an antenna were calculated. Its polarization characteristics are determined. It is established that the emitted waves have elliptical polarization.

УДК 537.86 + 621.396.67

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВЯЗАННЫХ ПЛОСКИХ ПОЛОСКОВЫХ ВИБРАТОРОВ

Клюев Д.С., Коршунов С.А.

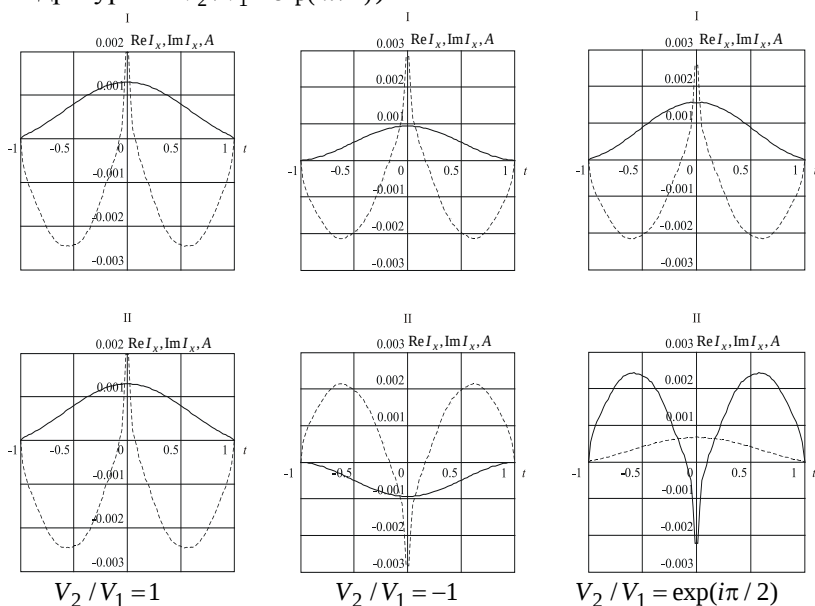
*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Связанные плоские полосковые вибраторы, представляют собой бесконечно тонкие идеально проводящие полосы, расположенные в одной плоскости на расстоянии d друг от друга, возбуждаемые сторонними гармоническими ЭДС, приложенными в зазорах шириной $2b$ каждого вибратора. Вибраторы имеют длину $2l$ и ширину $2a$, которая много меньше их длины и длины

волны ($2a \ll l, \lambda$), l_0 — координата точки питания. В квазистатистическом приближении распределения поверхностных плотностей токов по поперечной координате $\eta_{1,2x}(x, y) = f_{1,2}(x) / \sqrt{a^2 - y^2}$, где $f_{1,2}(x)$ — функции, описывающие их продольное распределение на 1 и 2 вибраторах, задача анализа такой излучающей структуры сведена к системе сингулярных интегральных уравнений с особенностью Коши. Так как уравнения имеют аналогичный вид, к рассмотрению представлено уравнение для первого вибратора:

$$-i2a\omega\varepsilon_a E_{1x}^{\text{CT}} = \int_{-1}^1 f_1'(t') R_1(t, t') dt' + \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f_1'(t')}{t' - t} dt' + \int_{-1}^1 f_2'(t') R_2(t, t') dt',$$

где $R_{1,2}(t, t')$ — регулярные ядра. На рисунке представлены результаты расчетов комплексных распределений токов на системе двух связанных симметричных вибраторов при различных типах возбуждения: синфазном $V_2/V_1=1$, противофазном $V_2/V_1=-1$ и квадратурном $V_2/V_1=\exp(i\pi/2)$.



ELECTRODYNAMIC ANALYSIS OF COUPLED PLANAR STRIP VIBRATORS

Klyuev D.S., Korshunov S.A.

(“Volga state university of telecommunication and informatics”)

The thesis presents an electrodynamic analysis of a coupled planar strip vibrators, during which complex current distributions are calculated. Basic mathematical and electrodynamic features are shown. One of the methods for solving the singular integral equations is briefly described.

УДК 537.86 + 621.396.67

РАСЧЕТ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛОСКОГО ПОЛОСКОВОГО ВИБРАТОРА

Клюев Д.С., Коришунов С.А.

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

Полосковый вибратор (рис. 1), представляет собой бесконечно тонкую идеально проводящую полосу, возбуждаемую сторонней гармонической ЭДС, приложенной к области разрыва шириной $2b$, под воздействием которой, на ее поверхности возникают токи. Вибратор имеет длину $2l$ и ширину $2a$, которая много меньше его длины и длины волны ($2a \ll l, \lambda$), l_0 — координата точки питания.

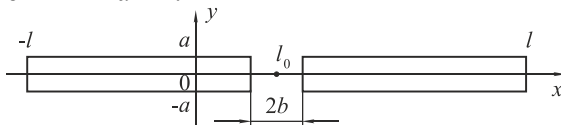


Рис. 1. Геометрия задачи

В квазистатическом приближении распределения поверхностной плотности тока по поперечной относительно координате $\eta_x(x, y) = f(x) / \sqrt{a^2 - y^2}$, где $f(x)$ — функция, описывающая ее продольное распределение, задача анализа такого излучателя сведена к сингулярному интегральному уравнению с особенностью Коши.

$$-i2a\omega\epsilon_a E_x^{\text{ст}} = \int_{-1}^1 f'(t') R(t, t') dt' + \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f'(t')}{t' - t} dt',$$

где $R(t, t')$ — регулярная часть ядра.

Выражение для определения тока на поверхности вибратора:

$$I_x(x) = \int_{-a}^a \eta(x, y) dy = f(x) \int_{-a}^a \frac{1}{\sqrt{1 - (x/a)^2}} dx = \pi a f(x).$$

Входное сопротивление вибратора определяется выражением $Z = V / I_z(l_0)$, где V — напряжение в зазоре.

На рис. 2 показаны зависимости входного сопротивления вибратора от длины плеча нормированной на длину волны при различной ширине полоски.

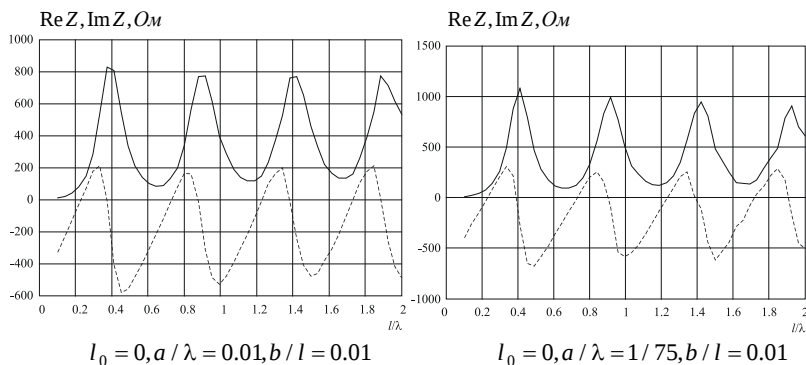


Рис. 2. Зависимости входного сопротивления полоскового вибратора

CALCULATION OF INPUT IMPEDANCE OF PLANAR STRIP VIBRATOR

Klyuev D.S., Korshunov S.A.

(“Volga state university of telecommunication and informatics”)

The thesis presents an electrodynamic analysis of a planar strip vibrator, during which parts of complex input impedance are calculated. Basic mathematical and electrodynamic features are shown. One of the methods for solving the singular integral equations is briefly described.

УДК 621.396.677.45

ВЛИЯНИЕ ЭКРАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ГИРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАТОРА

Солдатов А.А.

*(Поволжский Государственный Университет
Телекоммуникаций и Информатики)*

Рассмотрим рупорную антенну на основе подмагниченного сферического гиромагнитного резонатора (ГР), размещенную на металлическом экране. За счёт включения ГР исследуемая антенна обладает уникальными характеристиками излучения [1]. Рассмотрим влияние металлического экрана на характеристики излучения.

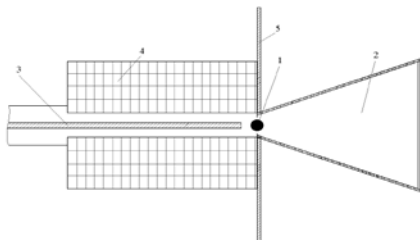


Рис. 1. Антенна на основе ГР с экраном

Исследуемая антенна показана на рис.1. Здесь под цифрой 1 обозначен сферический ГР, который подмагничивается электромагнитом 4, 2- конический рупор, 5- металлический экран.

Примем за модель излучателя вращающийся ток в раскрыве рупора. Решая уравнение Гельмгольца для векторного магнитного потенциала и используя формулы перехода от потенциалов к составляющим электромагнитного поля, получим формулу для амплитудной диаграммы направленности

$$|F(\theta, \varphi)| = \frac{|f(\theta)f_0(\theta)|}{f_{\max} f_{0\max}} \sqrt{\frac{1 + \cos^2 \theta}{2}}, \quad (1)$$

где введена величина экранного множителя:

$$f(\theta) = \frac{1}{h} \int_{z'=-h}^{z'=h} e^{ikz' \cos \theta} dz'. \quad (2)$$

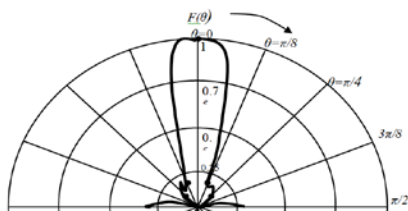


Рис.2. Амплитудная ДН рассчитанная по формулу (2)

Диаграмма направленности (ДН) рупорной антенны на ГР с экраном близка к ДН рупорной антенны, появление боковых лепестков обусловлено вкладом экранного множителя (рис.2). Коэффициент усиления существенно больше, чем антенны без экрана и составляет порядка 30.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солдатов А.А. Рупорная коническая антенна с подмагниченным гиромагнитным резонатором // Физика волновых процессов и радиотехнические системы.– 2006,- Т.4.-№9.– С.70-72.

THE EFFECT OF THE SCREEN ON THE CHARACTERISTICS OF A HORN ANTENNA BASED ON THE GYROMAGNETIC RESONANCE

Soldatov A.A.

(Volga State University of Informatics and Telecommunications)

In the article the effect of the screen on the characteristics of a horn antenna based on a gyromagnetic resonator.

УДК 621.396.677.45

ВЛИЯНИЕ ТИПА ОБЪЕМНОГО РЕЗОНАТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ПОДМАГНИЧЕННОГО ГИРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАТОРА

Солдатов А.А., Коршунов С.А.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

Антенна на основе подмагниченного сферического гиромагнитного резонатора (ГР), была предложена в [1].

Характеристики излучения антенны зависят от типа объемного резонатора (ОР), который является излучающим элементом. На рис.1 представлены 5 типов объемных резонаторов. Характеристики антенн с различным типом резонатора исследовались экспериментально.

Магнитное поле создавалось с помощью электромагнита и менялось при изменении тока в электромагните. Коэффициент усиления измерялся методом эквивалентной антенны. Результаты экспериментальных измерений сведены в таблицу и представлены на рис.1.

ОР под цифрой 1 и 3 сконструированы на диэлектрическом дисковом резонаторе. Резонатор ОР под цифрой 3 выполнен в виде дисковый стальной «стакан». Резонаторы 2, 4 и 5 сконструированы на основе ферритовых дисков. ОР типа окружен по боковой кромке толстым проволочным кольцом.

Предложенную антенну можно использовать как одиночный излучатель поля вращающейся поляризации, в составе антенной решетки, а также, для создания поляризаторов и измерителей поляризации.

В зависимости от поставленных задач можно использовать тот или иной тип ОР, опираясь на измеренные характеристики, показанные на рис.1.

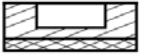
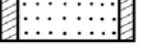
Схема макета излучателя	Полоса магнитной перестройки, МГц	Коэффициент усиления	Ширина диаграммы направленности, град	Коэффициент эллиптичности
1 	250-270	0.8-1	70-85	0.8-0.9
2 	350-450	1	65-75	0.8-0.9
3 	250-300	2.5-3	65-80	0.7-0.8
4 	450-500	1.1-1.2	100-110	0.75-0.85
5 	300-350	1.3-1.5	80-90	0.7-0.8

Рис.1. Различные типы ОР и характеристики их излучения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полухин Ю.Н., Солдатов А.А. Излучатели на гиромагнитных резонаторах // Тезисы IX Межд. н.т. конференции по гиромагнитной электронике.– Венгрия, - 1988. – С. 353-357.

THE INFLUENCE OF THE CAVITY-TYPE RESONATOR ON THE CHARACTERISTICS OF AN ANTENNA BASED ON A MAGNETIZED GYROMAGNETIC RESONANCE

Soldatov A.A., Korshunov A.S.

(Samara, Volga State University of Informatics and Telecommunications)

In the article the influence of the type of OP on the antenna radiation characteristics on the basis of a magnetized GR.

УДК 621.396.674

О СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА УРАВНЕНИЯ ПОГЛИНГТОНА

Табачков Д.П., Майоров А.Г.

(Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики)

С помощью метода коллокаций [1], интегральное уравнение (ИУ) Поклингтона, записанное для тонкого вибратора длиной L на длине волны λ , может быть сведено к СЛАУ вида:

$$\vec{Z} \vec{I} = \vec{E}, \quad (1)$$

где $\vec{I}$ - вектор значений тока в точках коллокации, $\vec{E}$ - вектор значений стороннего поля в точках коллокации, $\vec{Z}$ - матрица СЛАУ, представляющая собой, по сути, дискретизированный интегральный оператор (ИО) ИУ.

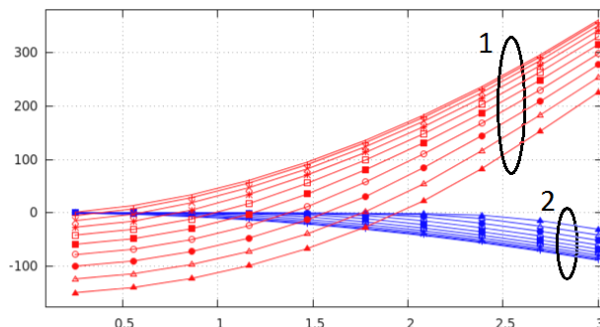


Рис. 1. Зависимость собственных значений от L/λ , 1 – действительная часть, 2 – мнимая часть.

Исследована зависимость собственных чисел ИО от отношения L/λ . Выявлено (рис.1), что данная зависимость хорошо аппроксимируется полиномами со степенью, не выше второй. Показано, что с учетом этого факта, а также с учетом независимости собственных векторов $\vec{Z}$ от L/λ , можно достаточно просто осуществлять аппроксимацию решения внутренней электродинамической задачи для тонкопроволочного вибратора в широкой полосе частот без непосредственного решения уравнения (1). В дальнейшем планируется обобщение разработанного подхода на более сложные математические модели излучающих и переизлучающих структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Митра Р. Вычислительные методы в электродинамике; Радиотехника, 2009.- 720 с.

IGENVALUES OF POCKLINGTON EQUATION INTEGRAL OPERATOR

Tabakov D.P., Mayorov A.G.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)

УДК 621.396.674

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ВЛОЖЕННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РАМОК

Табакон Д.П., Матвеевский П.О.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

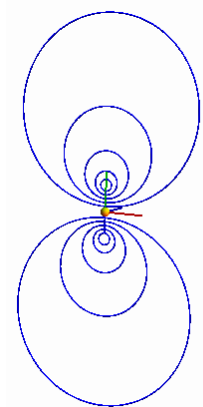


Рис. 1. Геометрия
фрактальной антенны

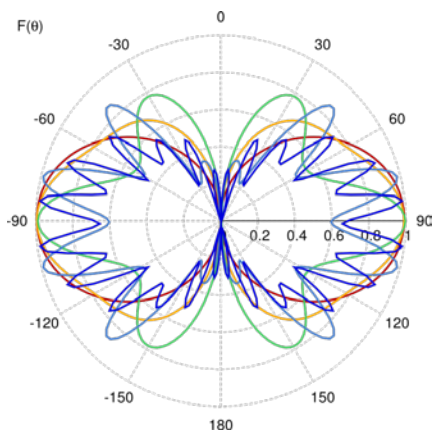


Рис. 2. Диаграммы направленности фрактальной
антенны в меридианной плоскости на кратных
частотах (7 итераций)

На основе тонкопроволочных интегральных представлений электромагнитного поля [1] построена математическая модель симметричной фрактальной антенны, представляющей собой совокупность вложенных кольцевых рамок, расположенных на едином основании (рис.1). Радиусы соседних вложенных колец отличаются в два раза, радиус наибольшего кольца равен $R_{\max}$. Проведен полный электродинамический анализ излучающей структуры при числе вложенности, равном пяти. Определена зависимость входного сопротивления антенны от $R_{\max} / \lambda$, анализ которой показывает, что входное сопротивление рассматриваемой антенны имеет незначительную реактивную составляющую в широкой полосе частот. Определены диаграммы направленности

антенны в азимутальной плоскости на частотах, кратных $0.5R_{\max} / \lambda$ (рис.2). Показано, что рассматриваемая антенна обладает широкополосными свойствами как по диаграмме направленности, так и по входному сопротивлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П. Сингулярные интегральные представления электромагнитного поля как средство корректного решения антенных задач // Физика волновых процессов, 2014. - Т.17, №3, с.9-22

ELECTRODYNAMIC ANALYSIS OF FRACTAL ANTENNA BASED ON THE INVENTED RING FRAMES

Tabakov D.P., Matveyevskiy P.O.

*(Povolzhsky State University of
Telecommunications and Informatics)*

УДК 621.396.674

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШИРОКОПОЛОСНОГО ВИБРАТОРА С ТОРЦЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Табаков Д.П., Морозов С.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Рассматривается модель тонкопроволочного широкополосного вибратора с торцевыми элементами. Построение модели осуществлялось на основе интегрального представления электромагнитного поля.

Широкополосный вибратор построен на основе излучающей структуры, представленной в [1], но в отличие от [1], рассматриваемая модель дополнена торцевыми проводниками. Вибратор состоит из совокупности тонких проводников $L^{(g)}$, в которых: $L_L^{(g)}$ – основные проводники длиной L , организация которых показана на рис.1; $L_{\alpha 1}^{(g)}, L_{\alpha 2}^{(g)}$ – торцевые проводники для случая $M \leq 6$ (рис.2а); $L_{c1}^{(g)}, L_{c2}^{(g)}, L_{b'1}^{(g)}, L_{b'2}^{(g)}$ – торцевые проводники для случая $M > 6$ (рис.2б). Разная организация торцевых

проводников связана с тем, что при больших значениях M угол между соседними торцевыми проводниками $L_{\alpha 1}^{(g)}, L_{\alpha 2}^{(g)}$ мал, вследствие чего расстояние между соседними точками коллокации на соединяющихся в точках O_1, O_2 сегментах также будет слишком мало, что может привести к некоторым численным результатам в рамках тонкопроволочной модели.

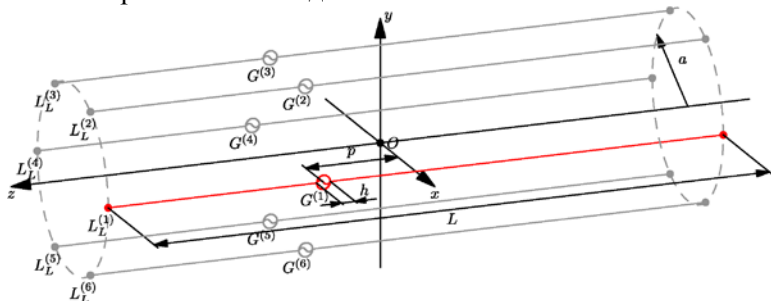


Рис. 1. Геометрия широкополосного тонкопроволочного вибратора $M = 6$.

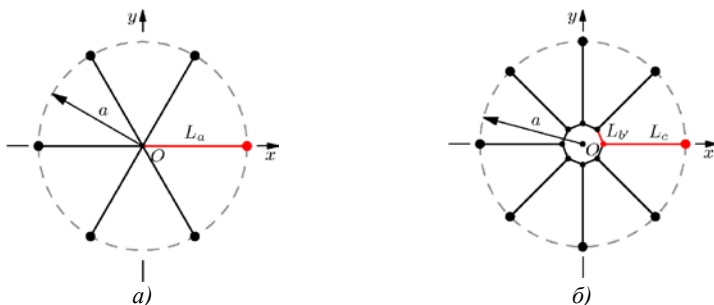


Рис. 2. Организация торцевых проводников широкополосного вибратора:
а - $M \leq 6$, б - $M > 6$.

Питание излучающей структуры организовано так же, как и в [1]. На рис.1 p – расстояние от плоскости xOy до центров генераторов ЭДС $G^{(g)}$, создающих стороннее электрическое поле $E^{(in)}$ и помещенных в разрывы длиной $h \ll \lambda$.

Исследованы распределения тока (рис. 3) и зависимость входного сопротивления (рис. 4) от L/λ .

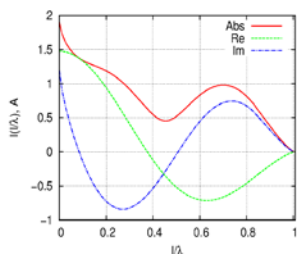


Рис. 3. Результаты расчета
распределения тока для случая $L = \lambda$.

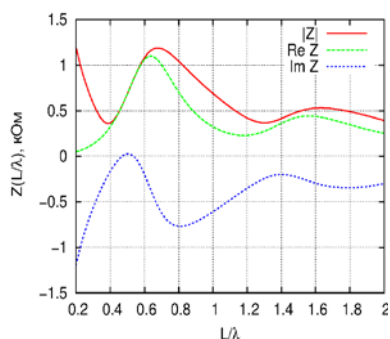


Рис. 4. График входного
сопротивления вибратора ($N=6$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табаков Д.П., Морозов С.В., Неганов В.А. Применение тонкопроволочных интегральных представлений электромагнитного поля к электродинамическому анализу вибраторных антенн с большим поперечным сечением // Физика волновых процессов и радиотехнические системы Т.20, №2 2017. – С.57-58

MATHEMATICAL MODEL OF A BROADBAND VIBRATOR WITH FACE ELEMENTS

Tabakov D.P., Morozov S.V.

*(Povolzhsky State University of
Telecommunications and Informatics)*

УДК 621.396.674

ПОЛНЫЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИБРАТОРА НАДЕНЕНКО

Табаков Д.П., Морозов С.В.

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

Рассматривается вопрос электродинамического анализа вибратора Надененко[1], обладающего поворотной симметрией. Построение математической модели осуществляется на основе тонкопроволочного интегрального представления электромагнитного поля[2].

Общий вид вибратора Надененко представлен на рис. 1а. Он образован группами проводников $L^{(g)}$. Проводники обозначены как L_{ab} , где a имеет отношение к точке p_a , являющейся началом проводника, а b относится к точке p_b , являющейся концом проводника. Основная группа проводников, а также некоторые другие параметры, показаны на рис. 1б.

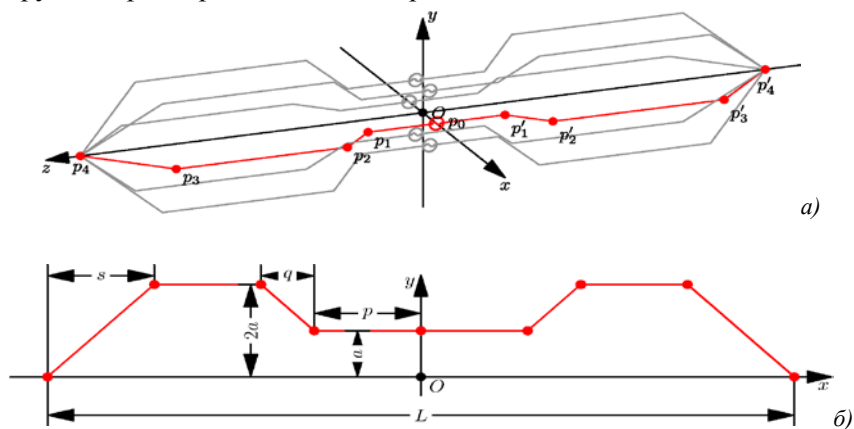


Рис. 1: Вибратор Надененко: а – общий вид, б – основная группа проводников

Исследована зависимость входного сопротивления вибратора Надененко для $N=6$, где N – число поворотов основной группы проводников (рис.2), L – полная длина группы. Вычислены распределения тока по элементам антенны и диаграмма направленности для различных длин волн. Показано, что для рассматриваемой структуры в отличие от тонкого вибратора, наблюдается сильное смещение резонансов в сторону более низких частот.

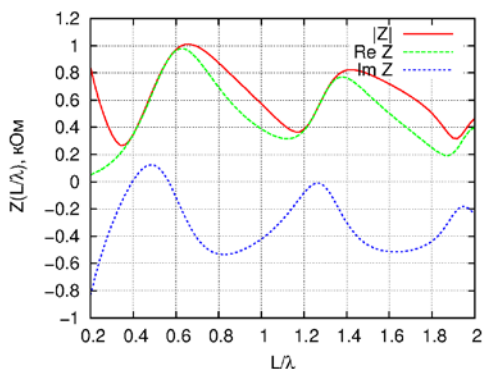


Рис. 2. График входного сопротивления вибратора Надененко ($N=6$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практическое применение антенн// М.: «Радиотехника», 2009. – 720с.
2. Табаков Д.П., Морозов С.В., Неганов В.А. Применение тонкопроволочных интегральных представлений электромагнитного поля к электродинамическому анализу вибраторных антенн с большим поперечным сечением // Физика волновых процессов и радиотехнические системы Т.20, №2, 2017. – С.57-58

FULL ELECTRODYNAMIC ANALYSIS OF THE VIBRATOR NADENENKO

Tabakov D.P., Morozov S.V.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics»)

УДК 621.396.674

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С ТОНКОПРОВОЛОЧНЫМ РЕФЛЕКТОРОМ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ

Табakov Д.П., Морозов С.В., Куприянов Д.А.
(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)

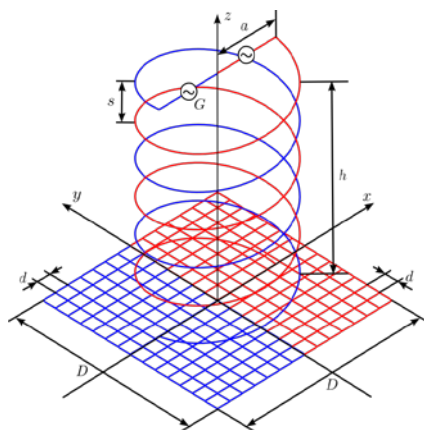


Рис. 1

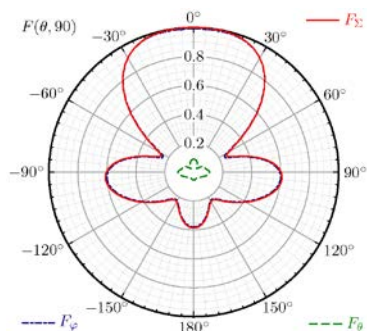


Рис. 2

Рассмотрена цилиндрическая спиральная антенна с линейным шагом намотки, расположенная над тонкороволоочным рефлектором конечных размеров (рис.1). На рис.1: $D \times D$ - размер рефлектора, $d \times d$ - размер ячейки, a - радиус спирали h – высота спирали, s - межвитковое расстояние, G - генераторы ЭДС. Математическая модель учитывает поворотную симметрию структуры и построена на основе модели, предложенной в [1].

Исследовано влияние размеров и шага сетки рефлектора на форму диаграммы направленности антенны. На рисунке представлен результат расчета диаграммы направленности для случая $a = 0.3\lambda$, $D = 1.5a$, соответствующего режиму осевого излучения. Из рисунка видно, что рефлектор ослабляет лепесток обратного излучения антенны в 4 раза, при этом образуются боковые лепески, порождаемые токами на рефлекторе. Выявлено, что на низких частотах наблюдается рост амплитуды лепестка

обратного излучения. Аналогичные явления наблюдаются при увеличении размеров ячейки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Филиппов С.Б., Мальцев А.С., Табаков Д.П. Теоретическое и экспериментальное исследование двузаходной конической равноугольной логоспиральной антенны малого космического аппарата «АИСТ-2» // Радиотехника, №2, 2015 с. с.5-15.

RESEARCH OF CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL OF A SPIRAL ANTENNA WITH A FINITE-FINE REFLECTOR OF FINITE SIZES

Tabakov D.P., Morozov S.V., Kuprianov S.A.

(Samara, «Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics»)

УДК 621.396.674

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПРОВОЛОЧНОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ РАМОЧНОЙ АНТЕННЫ

Табаков Д.П., Яковлев М.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

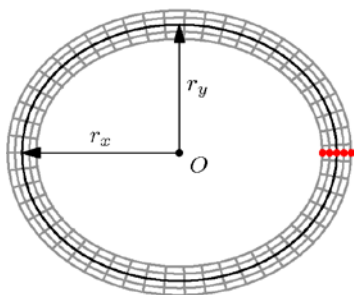


Рис. 1

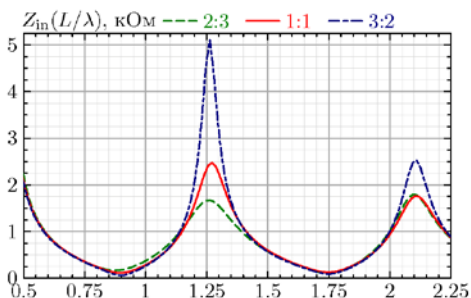


Рис. 2

В [1] представлена математическая модель планарной кольцевой антенны, решение внутренней задачи для которой сводится к системе независимых сингулярных интегральных

уравнений. В качестве альтернативы данной модели предлагается структура, представляющая собой совокупность N_ρ эллиптических и N_ϕ радиальных тонких проводников, имитирующих сплошную металлическую полосу шириной h . Каждый эллиптический проводник возбуждается соответствующим генератором ЭДС (рис.1). Коэффициент эллиптичности определяется выражением $k = r_x : r_y$. Длина среднего эллиптического проводника равна L . На основе тонкопроволочных интегральных представлений электромагнитного поля [2] построена математическая модель данной структуры. Исследовано влияние числа проводников различного типа и коэффициента эллиптичности на характеристики антенны (распределение тока по проводникам, входное сопротивление, диаграмма направленности). В качестве примера на рис.2 представлена зависимость модуля входного сопротивления от L/λ и k , рассчитанная при $N_\phi=1$, $N_\rho=0$, из которой видно, что наибольшие расхождения в результатах наблюдаются вблизи резонансных длин волн. Показано, что подобные антенны имеют крайне неустойчивые электродинамические характеристики, чувствительные к внутренней организации проводников и длине волны. Так, при $N_\rho=0$ (игнорируются радиальные токи), даже при малом расстоянии между эллиптическими проводниками возникает множество отдельных резонансов, связанных с конкретными проводниками, а при наличии радиальных проводников этот эффект не проявляется, но входное сопротивление антенны имеет значительную емкостную составляющую.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неганов В.А., Табаков Д.П. Сингулярные интегральные представления электромагнитного поля как средство корректного решения антенных задач // Физика волновых процессов, 2014 . - Т.17, №3, с.9-22
2. Неганов В.А., Табаков Д.П. Применение сингулярных интегральных уравнений для электродинамического анализа плоской кольцевой антенны // Антенны, Вып.№10(137), 2008. – С. 25-33

**INVESTIGATION OF THE ELECTRODYNAMIC
CHARACTERISTICS OF A THIN-WIRE ELLIPTICAL
LOOP ANTENNA**

Tabakov D.P., Yakovlev M.V.

*(Samara, «Povolzhsky State University of
Telecommunications and Informatics»)*

УДК 621.396

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СОГЛАСОВАНИЯ
ДВУХЗАХОДНОЙ КОНИЧЕСКОЙ
ЛОГОСПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ СИСТЕМЫ
ВИДЕОКОНТРОЛЯ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ**

Филиппов С.Б., Мальцев А.С., Коршунов С.А.
(АО РКЦ "ПРОГРЕСС",

*Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Бортовая аппаратура системы видеоконтроля (БА СВК) задумана как самостоятельный модуль, обеспечивающий пользователю возможность осуществлять дистанционные исследовательские операции, так называемое "интерактивное наблюдение", при отделении космических аппаратов от разгонных блоков, в частности от БВ «Волга». БА СВК включает в себя четыре различных подсистемы: блок системы видеоконтроля, блок обработки данных, высокочастотный блок и антенно-фидерное устройство (АФУ). АФУ состоит из двух антенн и фидерного тракта.

Важным узлом такого АФУ, определяющим его электродинамические характеристики, является широкополосная антенна, излучающая сигналы в дециметровом S-диапазоне частот (от 1000 до 1100 МГц). В качестве широкополосной антенны АФУ была выбрана двухзаходная коническая логоспиральная антенна уменьшенных геометрических размеров и числом витков равным двум. Антенна представляет собой две металлические ленты, намотанные и закреплённые на диэлектрическом конусе. Такая форма спиральных лент обеспечивает широкую полосу, а так же

широкую диаграмму направленности (ДН) и круговую поляризацию во всех направлениях полусферы. ДН логоспиральной антенны зависит от величины угла при вершине конуса и угла намотки спирали. Логарифмическая двухзаходная антенна с постоянным углом раскрытия в виде планарной спирали, обёрнутой вокруг диэлектрического конуса, была создана американским учёным Д. Дайсоном (Dyson) в 1958 году [1].

Для обеспечения допустимой нормы согласования общей схемы АФУ БА СВК при самых неблагоприятных сочетаниях входных сопротивлений приборов, входящих в данную схему, коэффициент стоячей волны (КСВ) двухзаходной конической логоспиральной антенны должен иметь значения в пределах от 1,1 до 1,2. Для этой цели в конструкцию двухзаходной конической логоспиральной антенны необходимо ввести элемент согласования [2]. Именно такой согласующий элемент получил название трансформатора сопротивлений, который широко используется в СВЧ технике. В конструкции антенны предусмотрены три элемента настройки: последовательный согласующий трансформатор сопротивлений, симметрирующая щель и согласующий винт. В процессе отработки согласования антенны с линией передачи определяются:

- волновое сопротивление трансформатора,
- его диаметр и его длина $L_{тр.}$;
- длина симметрирующей щели;
- местоположение согласующего винта по длине линии передачи.

Основным элементом согласования является трансформатор сопротивлений.

Для определения параметров такого трансформатора необходимо располагать точными данными по входному сопротивлению $Z_{вх.}$ антенны, т.к. даже незначительная погрешность приводит к серьезным отклонениям от ожидаемого результата. Практическое измерение $Z_{вх.}$ антенны при больших значениях КСВ (реально КСВ $\sim 3\div 5$) связано с большими погрешностями в определении активной составляющей, от которой зависит $\rho_{тр.}$ [3].

Реактивная составляющая определяется гораздо точнее т.к. связана с измерением фазового угла и может быть отрегулирована размером симметрирующей щели, исходная длина которой около $\lambda/4$, и уточняется по результатам измерения $Z_{\text{вх}}$ антенны с целью приведения его к активной оси диаграммы Вольперта-Смита. Поскольку, как говорилось выше, $Z_{\text{вх}}$ антенны не может быть измерено с достаточной точностью, целесообразно измерять входное сопротивление без трансформатора сопротивлений, корректируя его характеристики по результатам замеров, для чего производить калибровку на средней частоте диапазона в точке питания.

Если по результатам замеров $Z_{\text{вх}}$ лежит выше центра диаграммы Вольперта-Смита, $\rho_{\text{тр}}$ следует увеличить, т.е. уменьшить диаметр трансформатора, если ниже – то $\rho_{\text{тр}}$ надо уменьшить, т.е. взять трансформатор большего диаметра. Если $Z_{\text{вх}}$ лежит правее оси активных сопротивлений, то длину трансформатора следует увеличить, если левее – уменьшить. Последовательной регулировкой $\rho_{\text{тр}}$ и $L_{\text{тр}}$ приводят $Z_{\text{вх}}$ к минимальному КСВ на средней частоте диапазона.

Окончательное согласование осуществляется согласующим винтом, положение которого на линии передачи должно соответствовать сечению, в котором точка $Z_{\text{вх}}$ на средней частоте диапазона располагается слева от центра диаграммы Вольперта-Смита, т.к. вводимый винт обладает положительной проводимостью и перемещает $Z_{\text{вх}}$ к центру, после чего осуществляется контроль согласования антенны в требуемом диапазоне частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dyson J.D. The Unidirectional Equiangular Spiral Antenna. University of Illinois. Antenna Lab. Tech. Rep. № 33. Ohio. July 10. 1958.
2. Ефимов И.Е. Радиочастотные линии передачи. М: Издательство «Связь», 1977. С.88-89.
3. Неганов В.А., Филиппов С.Б., Ширманов Ю.Е. Метод согласования комплексной нагрузки последовательным

трансформатором // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. №2.С.31-36.

**THE SOLUTION OF THE TASK OF THE HARMONIZATION OF THE
TWO-BOND CONNECTIVE LOGOSPIRAL
ANTENNA OF THE VIDEOCONTROL SYSTEM OF THE
BOOSTER BLOCK**

Philippov S.B., Maltcev A.S., Korshunov S.A.
(JSC SRC Progress, «Volga state university
of telecommunication and informatics»)

УДК 621.396.677

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ
СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ВОЛНОВОДА С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ
НЕРЕГУЛЯРНОСТЕЙ**

Шаабан М.

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

В частотных диапазонах, перспективных для новых телекоммуникационных приложений альтернативой классическим вариантам антенн могут стать излучающие системы, образованные желобковым диэлектрическим волноводом структурой с периодической системой нерегулярностей. Такие антенны могут рассматриваться как антенные решетки с последовательным возбуждением излучающих элементов. Этими антеннами создается направленное излучение в плоскости волновода с широкой ДН в поперечной плоскости.

Электродинамический анализ антенн на основе диэлектрических волноведущих структур достаточно сложен уже при идентичных нерегулярностях [6-8], а для элементов с различными размерами практически невозможен. Для практического использования авторами разработана и экспериментально протестирована упрощенная инженерная методика проектирования линейной антенной решетки [1-2].

Методика основана на модифицированном энергетическом подходе. Размеры нерегулярностей определяются исходя из требуемого амплитудного распределения $I_n = I_n(s_1, s_2 \dots s_N)$. Количественные зависимости $s_n = s_n(x_1 \dots x_M)$ определяются путем электродинамического анализа отрезка волновода с периодической системой идентичных нерегулярностей с параметрами $x_1 \dots x_M$. Производится также коррекция межэлементных расстояний с учетом зависимости коэффициента фазы $\beta_n = \beta_n(x_1 \dots x_M)$. Результатом является геометрия антенны в общем случае в виде почти периодической системы нерегулярностей с различными, геометрическими размерами. При необходимости затем может производиться уточнение результатов методами электродинамического моделирования с использованием эффективных пакетов типа CST microwave Studio, FEKO и др.

Ключевым моментом использования указанной методики является наличие достаточно точных данных о коэффициентах связи $s_n = s_n(x_1 \dots x_M)$ и локальных значениях коэффициента фазы $\beta_n = \beta_n(x_1 \dots x_M)$ в зависимости от параметров волновода, типа и параметров нерегулярностей.

В работе в этих целях используется электродинамическое моделирование нагруженного отрезка волновода с M идентичными нерегулярностями с шагом d .

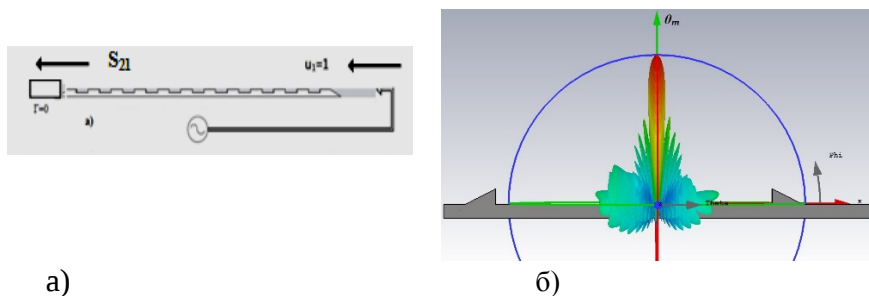


Рис. 1. а)- схема определения коэффициента связи, б) – коэффициента фазы

Для определения коэффициентов связи рассчитывается коэффициент передачи S_{21} , коэффициента фазы – направление максимума излучения линейной антенны:

$$s(x_1 \dots x_M) = 1 - |S_{21}|^{1/M}$$

$$\beta((x_1) \dots x_M) = 2\pi(\frac{\sin \theta_m}{\lambda_0} - 1/d)$$

На Рис. 2-3 приведены типичные данные расчетов $s_n(x_1 \dots x_M)$ и $\beta_n(x_1 \dots x_M)$ для антенны в виде системы пазов в диэлектрическом стержне желобкового ДЗВ.

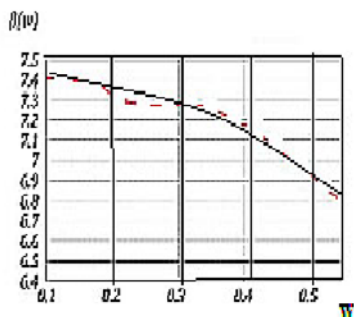


Рис.2. Зависимость коэффициента связи от ширины и глубины канавок

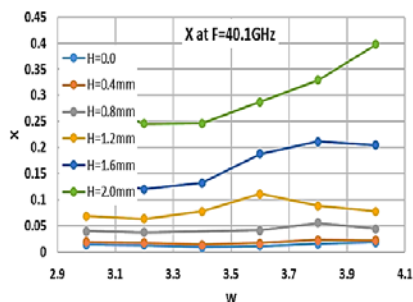


Рис 3 Зависимость коэффициента фазы от ширины и глубины канавок

Использование указанных данных позволяет на основе энергетического подхода

- решать задачи анализа структуры с известными геометрическими размерами;
- проводить анализ и оптимизацию вариантов антенн с различными типами возбуждения – бегущей волной, с КЗ концевой нагрузкой и др.

-осуществлять синтез излучающей структуры по заданному амплитудному распределению в раскрыве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lavarushev V.N., Sedelnikov Yu, E. Millimeter band low-height multibeam antennas. 20-th ESTEC Antenna Workshop on Millimeter Wave Antenna Technology and Antenna Measurement// 18-20 June 1997 ESTEC Noordwijk, the Netherlands p.87-91
2. . В.И. Классен, Е.Ю. Олейник, Ю.Е. Седельников, М. Шаабан, Плоские антенны Ka диапазона для перспективных средств телекоммуникаций ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ [4] 2017 с. 59 – 62

3. .Lampaiello P, Frezza F., Galli A., Bacarelli A., Burghignoli P., Lovat G., Paulotto S., Valerio G. and Jacson R. Advances in Leaky-wave Periodic structures after Oliners Pioneering Research. Proceedings of the 44th European Microwave Conference 6-9 Oct. 2014, Rome, Italy p.433-437

4. Thomas A. Milligan Modern Antenna design. Second Edition John Wiley & Sons, INC., Publication Hoboken, New Jersey. 2005 by John Wiley & Sons -614

УДК 621.396.673

РАЗРАБОТКА МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ПРОЕКТА «УМНЫЕ ДОРОГИ»

Халилова А.А., Абдрахманова Г.И., Воронков Г.С.

(Уфимский государственный авиационный технический университет)

В данной работе представлены результаты имитационного моделирования антенны для проекта «Умные дороги» [1] для обеспечения связи «дорога – автомобиль» в диапазоне частот 5650-6425 МГц. Данный диапазон выбран на основе рекомендаций Государственной комиссии по радиочастотам.

В качестве прототипа выбрана микрополосковая антенна, которая по проекту фиксируется на лобовом стекле автомобиля, не закрывая обзор дорожного движения водителю [2].

Антенна запитана при помощи копланарного волновода. Имитационное моделирование проводилось с использованием ПО CST Studio Suite Student Edition (SSSE) [3]. Рассчитаны геометрические и электрические параметры антенны: коэффициент отражения, КСВН, импеданс, распределение поверхностных токов, диаграмма направленности (ДН).

Рассчитанный диапазон частот оказался шире заявленного – 4650-7040 МГц. В пределах диапазона действительная часть импеданса согласована на значение 52,8 Ом, мнимая часть равна 0. ДН соответствует ДН полуволнового вибратора, размеры антенны – 21 мм × 27 мм (Рис. 1).

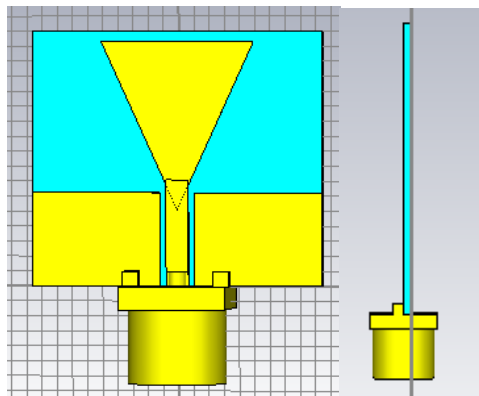


Рис. 1. Внешний вид антенны в ПО CST SSSE.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.А. Дергунов, С.А. Орехов, И.В. Кулешов. К вопросам внедрения «умных магистралей», Вестник Оренбургского государственного университета, 2015, № 5 (180). – С. 132-136.
2. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. Учебное пособие для специальных радиотехнических ВУЗов // Д.М. Сазонов – М: Высшая школа, 1988. – 432 с.
3. CST – Computer Simulation Technology, 2010. – 110 pp. http://eee.guc.edu.eg/Courses/Communications/COMM905%20Advanced%20Communication%20Lab/Sessions/MWS_Tutorials.pdf.

MICROSTRIP ANTENNA DEVELOPMENT FOR “SMART HIGHWAY” PROJECT

Khalilova A.A., Abdrakhmanova G.I., Voronkov G.S.

(“Ufa state aviation technical university”)

Small size microstrip antenna, operating in the band 4650-7040 MHz, was proposed in the paper. The antenna was designed for connecting “highway” with the “vehicle” and it was calculated with CST SSSE software. Electrical characteristics were calculated and analyzed.

УДК 621.37

ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ РЕАЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Андрющенко Т.А., Ильин А.Г., Ильин Г.И.
*(Казанский национальный исследовательский
технический университет)*

Считается, что реальный приемник, применяемый на практике, по своим характеристикам незначительно уступает оптимальному приемнику по В.А.Котельникову. Но указанное утверждение справедливо при больших отношениях сигнала к шуму. Известно, что оптимальный приемник состоит из оптимального линейного фильтра, согласованного с сигналом, и решающего устройства. В реальных приемниках требуемая частотная характеристика формируется усилителем промежуточной частоты. На практике обычно формируется частотная характеристика, согласованная с длительностью сигнала. При этом величина проигрыша по сравнению с оптимальным фильтром не превышает 1 дБ. В реальном приемнике сигнал на решающее устройство подается с выхода амплитудного детектора. Применение амплитудного детектора приводит к тому, что амплитудное распределение сигнала и шума на выходе детектора зависит от соотношения полос пропускания входного фильтра на входе детектора и фильтра на выходе амплитудного детектора [1]. Это обстоятельство приводит к изменению характеристик обнаружения реального приемника при малых отношениях сигнала к шуму по отношению к соответствующим характеристикам оптимального приемника.

Целью данной работы является оценка помехозащищенности реальных приемников при обнаружении радио импульсных сигналов на фоне собственных шумов приемного устройства. Характеристики обнаружения получены на базе результатов по характеристикам шумов и сигналов, полученных в работах [1]. Из анализа полученных характеристик обнаружения следует, что даже в том случае, когда частотная характеристика усилителя промежуточной частоты приемника точно соответствует частотной характеристике оптимального фильтра, согласованного со спектром сигнала, величина проигрыша по отношению к оптимальному приемнику зависит от отношения сигнала к шуму. При малых отношениях сигнала к

шуму величина проигрыша изменяется от двух до трех раз. При отношениях сигнала к шуму, больших 3, реальный приемник обеспечивает характеристики обнаружения близкие к характеристикам обнаружения оптимального приемника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Д. Миддлтон Введение в статистическую теорию связи. Пер. с англ. Том второй. Советское радио, 1962, с.831.

NOISE IMMUNITY OF REAL RECEIVERS

Andryushchenko T. A., Ilyin A. G., Ilyin G. I.

(Kazan national research technical university)

The noise immunity of real receivers when receiving narrowband signals is determined.

УДК 621.396.67.012.12

О ЛОКАЛЬНОМ ФАЗОВОМ ЦЕНТРЕ АНТЕННЫ В ПОСЛЕДНЕЙ ИНСТАНЦИИ

Чони Ю.И.

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

Введение. В большинстве случаев фазовая диаграмма поля излучения антенны ничего не значит. Редким исключением служат облучатели, в идеале формирующие сферическую волну, центр которой есть фазовый центр (ФЦ) антенны. Не случайно в пятидесятые-восемидесятые годы интерес к фазовой структуре поля излучения был связан исключительно с разработкой облучателей. С появлением спутниковых систем позиционирования требования к стабильности ФЦ и точности его контроля многократно возросли, что вызвало вторую волну исследований [1 - 4] по проблемам ФЦ антенн. У реальных антенн за редким исключением нет фазового центра в строгом смысле. Поэтому вводится понятие локального фазового центра (ЛФЦ) как центра сферы, воспроизводящей достаточно малый участок фазового фронта (ФФ) излучаемого поля в окрестности удаленной точки наблюдения. К сожалению, немного работ, посвященных методологическим вопросам определения ЛФЦ и анализу

перемещений ЛФЦ при изменении угловых координат точки наблюдения.

Локальный фазовый центр антенны. Простота понятия ЛФЦ обманчива. Ясно, что ЛФЦ однозначно определяется только, если рассматриваемый участок фазового фронта действительно сферичен. Иначе не избежать аппроксимации, базирующейся на оптимизации тех или иных формальных критериев. Поэтому, как не однократно отмечалось [2, 4], у антенн с более изощренными (more sophisticated) диаграммами направленности понятие ЛФЦ не вполне определено.

Любой компонент дальнего поля антенны представляется очевидным выражением: $F(\theta, \varphi) = |F(\theta, \varphi)| \exp(j\psi(\theta, \varphi)) \exp(-jkr)/r$, где $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число, $|F(\theta, \varphi)|$ и $\psi(\theta, \varphi)$ амплитудная и фазовая диаграммы соответственно. Координаты ЛФЦ зависят от направления наблюдения и, соответственно, в двухмерной ситуации он описывает некую линию, а в общем случае – поверхность. И то и другое для краткости будем называть годографом 2D или 3D соответственно.

Координаты ЛФЦ (2D-годограф). Пусть фазовая диаграмма антенны дается функцией $\psi(\theta, \varphi)$. На большом расстоянии R_0 от антенны ФФ, как эквифазная поверхность, дается очевидным выражением

$$R(\theta, \varphi) = R_0 + \psi(\theta, \varphi) / k \quad (1)$$

Начнем с чаще всего рассматриваемого 2D случая, когда ясно, что ЛФЦ лежит в секущей плоскости $\xi O \eta$ (рис. 1а), например, для линейной или плоской антенны. Если речь идет о сечениях ДН в сферической системе координат, то угол α – это θ или φ , а ξ и η – соответствующие пары декартовых осей.

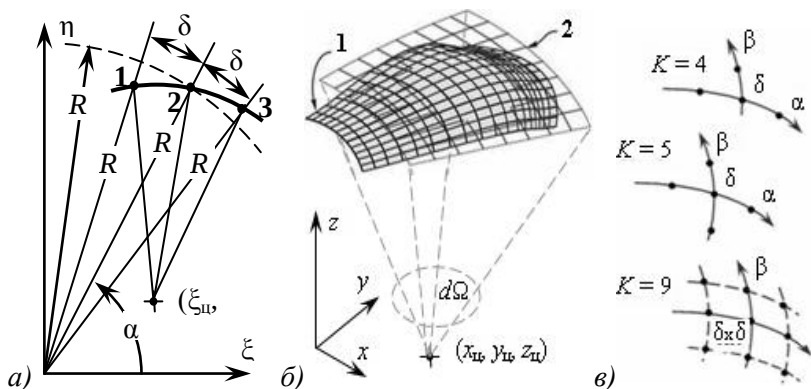


Рис. 1. К вычислению координат ЛФЦ: а) 2D ситуация; б) 3D ситуация, 1 – участок ФФ, 2 – аппроксимирующая сфера; в) три варианта расположения реперных точек.

В [5] приводятся замкнутые выражения для координат ЛФЦ:

$$\begin{aligned}\xi_u(\alpha) &= (1/k) [\cos \alpha \psi''(\alpha) - \sin \alpha \psi'(\alpha)]; \\ \eta_u(\alpha) &= (1/k) [\sin \alpha \psi''(\alpha) + \cos \alpha \psi'(\alpha)],\end{aligned}\quad (2)$$

где α – угол от оси ξ . Даже в случае простейших антенн производным $\psi'(\alpha)$ и $\psi''(\alpha)$ соответствуют громоздкие формулы. В условиях же, когда ДН антенны получена путем компьютерного моделирования или измерений, для оценки положения ФЦ (или ЛФЦ) нет альтернативы численным алгоритмам. Пусть на линии ФФ выбраны три точки 1, 2, 3, которые соответствуют углам $\alpha - \Delta\alpha$, α , $\alpha + \Delta\alpha$ с относительно малым угловым интервалом $\Delta\alpha$. Их координаты и расстояния от начала координат равны (ξ_1, η_1) , (ξ_2, η_2) , (ξ_3, η_3) и R_1, R_2, R_3 соответственно. Координаты (ξ_u, η_u) определяются формулами [4]

$$\xi_u = (d_2(\eta_3 - \eta_1) - d_3(\eta_2 - \eta_1))/D, \quad \eta_u = (d_3(\xi_2 - \xi_1) - d_2(\xi_3 - \xi_1))/D, \quad (3)$$

где введены обозначения $d_2 = (R_2^2 - R_1^2)/2$, $d_3 = (R_3^2 - R_1^2)/2$, $D = (\xi_2 - \xi_1)(\eta_3 - \eta_1) - (\xi_3 - \xi_1)(\eta_2 - \eta_1)$. При изменении угла α координаты (ξ_u, η_u) ЛФЦ изменяются, описывая 2D-годограф $\{\xi_u(\alpha), \eta_u(\alpha)\}$.

Координаты ЛФЦ (3D-годограф). Ясно, что универсальный алгоритм определения ЛФЦ может быть результатом среднеквадратичной аппроксимации участка

поверхности ФФ $R(\theta, \varphi)$ в пределах малого телесного угла $d\Omega$ вблизи точки наблюдения (R_0, θ, φ) (рис. 1б).

Пусть на ФФ вычислены или измерены K точек $(i = 1 \dots K)$: $R_i = R_0 + \psi(\theta_i, \varphi_i)/k$, где $\mathbf{r}_i^0$ – радиальный орт направления (θ_i, φ_i) ; $R_i = R_0 + \psi(\theta_i, \varphi_i)/k$ – расстояние до i -той точки ФФ, определяемое формулой (1);. Пусть $\mathbf{d}_c = x_c \mathbf{x}^0 + y_c \mathbf{y}^0 + z_c \mathbf{z}^0$ – радиус-вектор центра аппроксимирующей сферической поверхности радиуса $R_{сф}$. С учетом удаленности точки наблюдения расстояние $\rho_i = |\mathbf{R}_i - \mathbf{d}_c|$ может быть представлено выражением $\rho_i = R_i - [(x_c \cos\varphi_i + y_c \sin\varphi_i) \sin\theta_i + z_c \cos\theta_i]$. Записывая квадратичную ошибку $\sigma^2(x_c, y_c, z_c, R_{сф}) = \sum_i^K (R_{сф} - \rho_i)^2$ и приравнявая нулю ее производные, получаем систему четырех линейных алгебраических уравнений, представленную для наглядности в табличной форме

x_c	y_c	z_c	$R_{сф}$	Правая часть
$\sum_i (cs_i)^2$	$\sum_i cs_i ss_i$	$\sum_i cs_i c_i$	$\sum_i cs_i$	$\sum_i R_i cs_i$
$\sum_i cs_i ss_i$	$\sum_i (ss_i)^2$	$\sum_i ss_i c_i$	$\sum_i ss_i$	$\sum_i R_i ss_i$
$\sum_i cs_i c_i$	$\sum_i ss_i c_i$	$\sum_i (c_i)^2$	$\sum_i c_i$	$\sum_i R_i c_i$
$\sum_i cs_i$	$\sum_i ss_i$	$\sum_i c_i$	K	$\sum_i R_i$

(4)

здесь $cs_i = \cos\varphi_i \sin\theta_i$; $ss_i = \sin\varphi_i \sin\theta_i$; $c_i = \cos\theta_i$; $R_i = R_0 + \psi(\theta_i, \varphi_i)/k$.

Естественно, что число точек K не может быть меньше четырех, а угловые дискреты между ними должны быть малыми, а потому нет резона использовать большое их число. На рис. 1б представлены три варианта расположения точек $K = \{4, 5, 9\}$. В зависимости от геометрии антенны и особенностей ее ДН α – это угол θ или φ , соответственно β – это φ или θ .

Расчетные результаты. Пусть N синфазно возбужденных элементов расположены равномерно $\alpha_n = 2\pi/N$ на окружности радиуса $a = \lambda/2$. Их ДН обладают осевой симметрией и имеют кардиоидную форму $f_n(\theta, \varphi) = 1 + (\mathbf{r}^0, \mathbf{a}_n^0) = 1 + \sin\theta \cos(\varphi - \alpha_n)$.

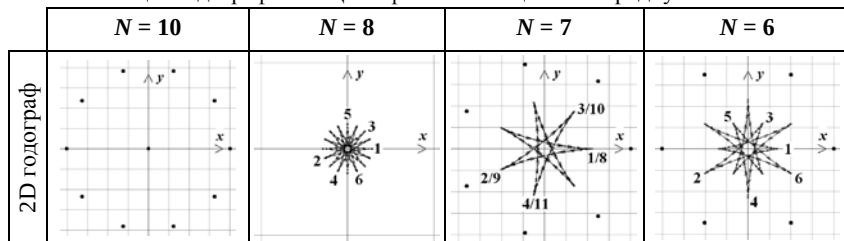
$$F(\theta, \varphi) = \sum_n^N [1 + \sin\theta \cos(\varphi - \alpha_n)] \exp(jka \sin\theta \cos(\varphi - \alpha_n)) \quad (5)$$

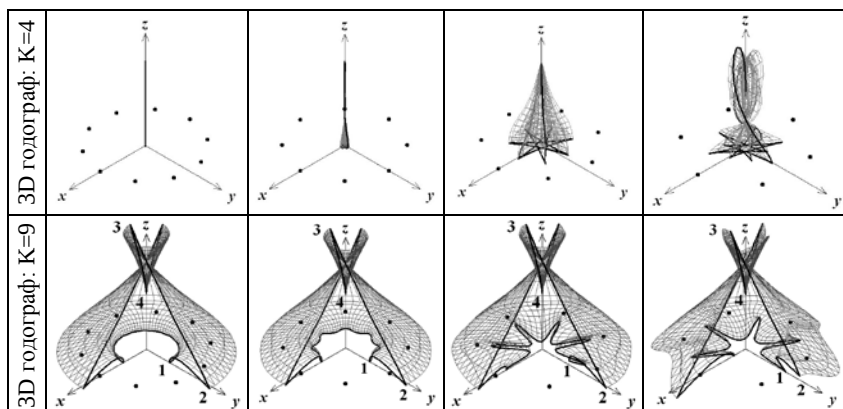
Ясно, что ДН (5) симметрична относительно плоскости xOy , следовательно, для любого направления φ в плоскости xOy ЛФЦ

лежит этой плоскости. При выполнении численных экспериментов расстояние R_0 и угловой дискрет δ изменялись в широких пределах: $10^2\lambda \div 10^4\lambda$ и $0.5^\circ \div 5^\circ$ соответственно. Стабильность результатов подтвердила устойчивость обоих алгоритмов (3) и (4). Представленные в таблице результаты получены при $R_0 = 10^3\lambda$ и $\delta = 2^\circ$. В первой строке изображены 2D-годографы. При этом серые линии образуют координатную сетку с шагом $\lambda/8$. В нижних строках таблиц изображены 3D-годографы в виде изометрических проекций сетки «ребер» $\varphi = \text{const}$ и «обручей» $\theta = \text{const}$ при шаге 5° . С учетом симметрии ДН относительно плоскости xOy , 3D-годографы строились в верхнем полупространстве, что соответствует направлениям наблюдений ($90^\circ < \theta < 180^\circ$, $0^\circ < \varphi < 360^\circ$). Жирные точки отображают элементы АР ($a = \lambda/2$). Это позволяет судить о габаритах поверхности годографа.

Изменение 2D-годографа в функции числа элементов N вполне предсказуемо: при большом числе элементов ($N \geq 10$) фазовая диаграмма выравнивается $\psi(\varphi) \approx \text{const}$ и центр кривизны, отождествляемый с ЛФЦ, покоится в начале координат. По мере уменьшения N нарастают флуктуации фазы $\psi(\varphi)$, а вместе с ними нарастают знакопеременные осцилляции второй производной $\psi''(\varphi)$. Поэтому радиус кривизны то уменьшается при $\psi''(\varphi) > 0$, то возрастает при $\psi''(\varphi) < 0$, и ЛФЦ перемещается по звездообразным траекториям. На каждом годографе пронумеровано несколько зубцов, начиная с угла $\varphi = 0^\circ$ и далее по нарастанию. При $N = 8$ «звездочка» годографа мала настолько, что область изображения ограничена участком $\lambda/8 \times \lambda/8$. Ясно, что в силу периодичности функции $\psi''(\varphi)$ число зубцов 2D-годографа равно $2N$. Эта закономерность не нарушается и в случае $N = 7$: просто зубцы накладываются друг на друга. Их двойные номера приведены через косую черту.

Таблица. Годографы ЛФЦ синфазной кольцевой АР радиуса $a = \lambda/2$





Естественно, при расчете по четырем точкам 3D-годографы имеют сечения $z = 0$, совпадающие с 2D-годографами первой строки. 3D-годографы нижней строки представлены вырезками для телесного угла направлений $90^\circ \leq \theta < 180^\circ$ и $90^\circ \leq \varphi < 360^\circ$. Положение их «стартовой» точки **1** соответствует физическим соображениям: поле в направлении ($\varphi = 0^\circ$, $\theta = 90^\circ$) формируется фронтальной частью антенного кольца, поэтому ЛФЦ смещен на заметную долю радиуса a в положительном направлении оси Oy . Кроме того, осевая симметрия ДН обуславливает осевую симметрию поверхности 3D-годографа. С уменьшением числа N элементов все более ярко проявляются флуктуации по углу φ . Причем траектория перемещения ЛФЦ в функции угла φ при $\theta = 90^\circ$ не повторяет 2D-годограф.

Заключение. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что даже в случае антенны простой геометрии расчет ЛФЦ как центра кривизны линии фазового фронта в главных плоскостях ДН может привести к ошибочным результатам, противоречащим физическому смыслу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akroun B., Santerre R., and Geiger A. Calibrating antenna phase centers. A tale of two methods // GPS Word, February 2005, pp. 49-53.
2. Проценко М.Б., Нестерук С.В. Особенности расчета и анализ местоположения локального фазового центра антенны. // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. 2006. № 2. С. 6-10

3. Prata A., Misaligned antenna phase-center determination using measured phase patterns // IPN Progress Report 42-150. 2002. August 15, pp 1-9.
4. Choni Yu.I. Hodograph of antenna's local phase center // IEEE TAP. 2015. Vol. 63, pp 2819 – 2823.

**LOCAL PHASE CENTER OF THE FIELD
RADIATED BY ANTENNA**

Choni Yu.I.

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

By the examples of the circle antenna array, the calculation results for three varieties of algorithms are compared. They demonstrate that mostly used calculating the local phase center as the center of the in-phase curve curvature can lead to erroneous results that contradict the physical sense. Spherical approximation of a piece of phase front surface is a reliable way to calculate the local phase center location.

УДК 621.396.67.012.12

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ АНТЕННЫ ЛУЧЕЙ
КРУПНОГАБАРИТНОЙ ГИБРИДНО-ЗЕРКАЛЬНОЙ
АНТЕННЫ**

Чони Ю.И.

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

Крупногабаритные многолучевые гибридно-зеркальные антенны (МГЗА) находят широкое применение в спутниковых системах связи. Будучи на геостационарной орбите, они формируют более сотни узких (доли углового градуса) лучей, покрывающих территорию зоны обслуживания в пределах ее контуров. Требования к диаграммам направленности (ДН) лучей достаточно жесткие, как в отношении стабильности их ориентации, так и к уровню их пересечения. Проектирование подобных МГЗА связано с огромным объемом вычислений. 1) Размер рефлектора велик и составляет порядка сотни длин волн. 2) Для статистической оценки ухудшения параметров МГЗА из-за

эксплуатационных деформаций рефлектора необходимы многократные расчеты. 3) Поскольку каждый лучи формируется группами элементов антенного полотна (АП), так называемыми кластерами, то оптимизация состава кластеров требует вариативных расчетов.

Применение универсальных средств электродинамического моделирования антенн, таких, как CST, FEKO, HFSS, AWR и т.п., привлекает аккуратностью расчетов: учет краевых эффектов и взаимодействия элементов АП – однако расчет каждого луча длится около часа, что накладывает существенные ограничения на число моделируемых вариантов. В этих условиях естественен интерес к вычислительным средствам для экспресс оценки характеристик крупногабаритных МГЗА. И возможности для разработки подобных программ существуют. Во-первых, МГЗА строятся по длиннофокусной схеме с вынесенным АП, что устраняет эффект затенения и снижает степень деполяризации отраженного поля. Во-вторых, нормаль АП ориентируют на центр рефлектора, потому вектор **H** облучателя практически тангенциален поверхности рефлектора. Наконец, ДН рассчитывается в пределах узкого телесного угла, ограниченного шириной луча и его первыми боковыми лучами.

Совокупность этих факторов позволяет вычислять ДН в «акустическом» приближении:

$$F(\theta, \varphi) = \sum_m \exp(k \Delta r_m(\theta, \varphi)) \left[\sum_n W_n f_0(\psi_{n,m}) \exp(k \rho_{n,m}) / \rho_{n,m} \right],$$

где m и n – индексы точек рефлектора и АП соответственно, $\{W_n\}$ – комплексные амплитуды возбуждения кластера, ξ и η – оси АП,

$$\Delta r_m(\theta, \varphi) = \sin \theta (x_m \cos \varphi + y_m \sin \varphi) + z_m \cos \theta,$$

$$\rho_{n,m} = \sqrt{(\xi_n \sin \beta_0 - x_m)^2 + (\eta_n - y_m)^2 + (L_\Phi + \xi_n \cos \beta_0 - z_m)^2}.$$

ДН облучателей $f_0(\psi)$ соответствуют функции $\cos^{1/2}$ угла между нормалью к АП и радиус-вектором в точку рефлектора, т.е.:

$$f_0(\psi_{n,m}) = \sqrt{((\xi_n \sin \beta_0 - x_m) \cos \beta_0 + (L_\Phi + \xi_n \cos \beta_0 - z_m) \sin \beta_0) / \rho_{n,m}}.$$

В интересах исследования характеристик МГЗА и выбора ее конфигурации была разработана программа в среде Delphi7, реализующая описанный выше подход. Для повышения скорости вычислений рефлектор заменялся сеткой точек с настраиваемым размером ячеек, равно как и АП. В итоге расчеты зеркала диаметром 90λ длились ≈ 30 с.

Для аттестации программы были выполнены тестовые расчеты зеркала диаметром 45λ как в CST (основной график на рисунке справа), так и по нашей программе (график справа вверх). Совпадение угловых координат и хорошее соответствие уровней лепестков ДН положительно аттестуют проверяемую программу. Аналогичные результаты дали сопоставительные расчеты и в других средах моделирования.

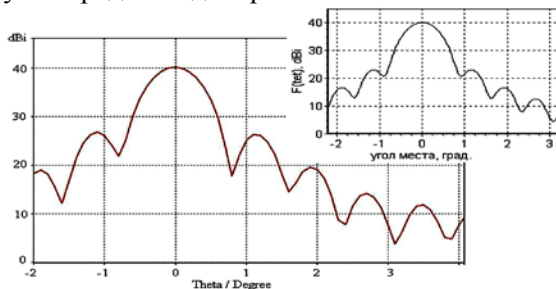


Рис.1. Расчеты в CST и по Delphi-программе.

**THE PROGRAM FOR CALCULATING BEAMS OF
A LARGE HYBRID-PARABOLIC ANTENNA
Choni Yu.I.**

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

We discuss a very robust algorithm to calculate the pattern of a large hybrid-parabolic antenna and results of its verification as well.

УДК 621.396.67

**ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ.**

Лаврушев В.Н., Потапова О.В., Скачков В.А.

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

В антенно-фидерных трактах систем космической связи важное значение имеют преобразователи поляризации, характеристики которых, зачастую, определяют показатели всей системы. проводилось

В данной работе электродинамическое моделирование 3 типов преобразователей поляризации:

1) на основе эллиптического металлического волновода; 2) - на основе круглого металлического волновода со вставленной в него диэлектрической пластиной; 3) - на основе круглого металлического волновода со вставленными параллельными металлическими пластинами.

Моделирование поляризатора на основе эллиптического металлического волновода.

Первоначально по известному частотному диапазону согласно формуле (1) определялась длина поляризационной секции. Ниже приводятся результаты исследований для частотного диапазона 50-55 ГГц, центральная частота и длина волны, соответственно, $f_0=52,5$ ГГц, $\lambda_0=5,71$ мм.

$$l = \frac{\lambda_0}{4 \left(\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{3,41 a_1} \right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{3,41 a_2} \right)^2} \right)}. \quad (1)$$

Состав преобразователя поляризации включает в себя: 1) прямоугольный волновод с поперечными размерами ($a \times b$) = (4,4×2,2) мм; 2) переход с прямоугольного волновода на круглый длиной $l1=\lambda_0=5,71$ мм; 3) отрезок круглого волновода диаметра $2a=4.4$ мм длиной $l2=15$ мм; 4) отрезок эллиптического волновода с поперечными размерами: ($a1 \times a2$) = (2,3×2,1) мм ($a1$ – большая полуось эллипса, $a2$ – малая полуось). Длина секции эллиптического волновода $l3=18.3$ мм.

На рис. 1 представлена разработанная модель в 3D в разрезе, а на рис. 2 приведена зависимость коэффициента эллиптичности (КЭ) в диапазоне частот.

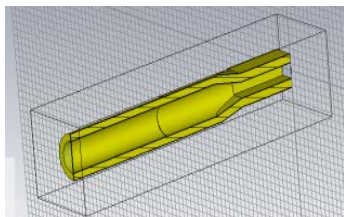


Рис. 1. Сечение $x=0$ поляризатора на основе эллиптического волновода

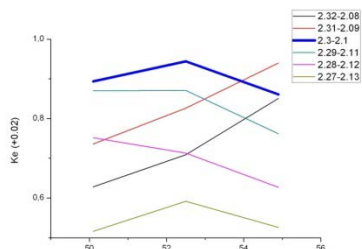


Рис. 2. Изменение КЭ при изменении поперечных размеров поляризатора

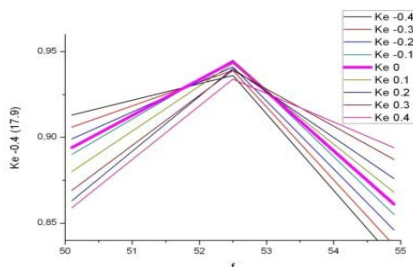


Рис. 3. Изменение КЭ при изменении продольных размеров поляризатора

Также были проведены исследования по влиянию поперечных размеров и длины поляризационной секции на величину КЭ в диапазоне частот. Шаг изменения поперечных размеров равнялся 0,01 мм, а длины секции – 0,1 мм. Результаты исследований представлены на рис. 2, 3. Из полученных результатов видно, что большее влияние на изменение коэффициента эллиптичности оказывает изменение поперечных размеров поляризационной секции, по сравнению с изменением ее длины.

Моделирование поляризатора - на основе круглого металлического волновода с вставленной в него диэлектрической пластиной.

Аналогичные исследования были проведены для данного поляризатора в диапазоне частот 62-70 ГГц. Длина диэлектрической пластины определялась из формулы (2).

$$l = \frac{\lambda_0}{4 \left(\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{3,41a} \right)^2} - \sqrt{\varepsilon_{\text{эфф}} - \left(\frac{\lambda_0}{3,41a} \right)^2} \right)}. \quad (2)$$

Разработанная модель показана на рис.4, результаты исследования поляризатора приведены на рис. 5, 6.

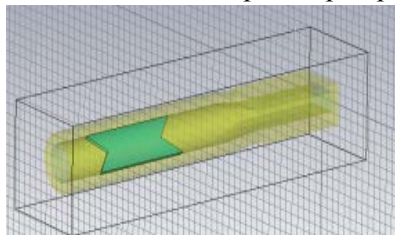


Рис. 4. Сечение $x=0$ поляризатора с диэлектрической пластиной

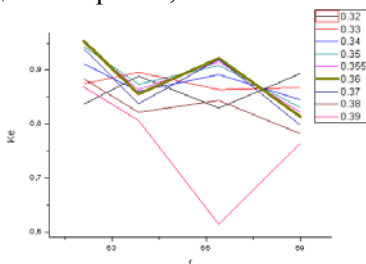


Рис. 5. Изменение КЭ при изменении толщины диэлектрической пластины

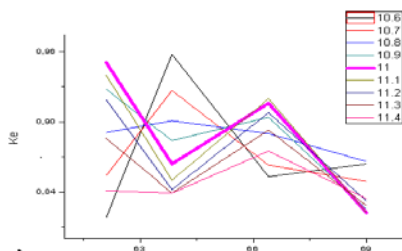


Рис. 6. Изменение КЭ при изменении длины диэлектрической пластины

Анализ полученных результатов показал, что данный поляризатор более критичен к изменению как поперечных, так и продольных размеров поляризатора.

Моделирование поляризатора - на основе круглого металлического волновода со вставленными параллельными металлическими пластинами.

Аналогичные исследования были проведены для поляризатора на основе круглого металлического волновода со вставленными параллельными металлическими пластинами. На рис. 7 приведена разработанная модель в 3D изображении, а на рис. 8 – кривые изменения КЭ при изменении поперечных размеров поляризационной секции. Проведенные исследования показали слабую зависимость влияния продольных размеров на значение КЭ.

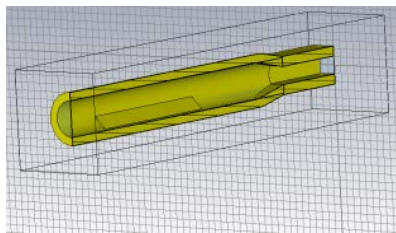


Рис. 7. Сечение $x=0$ поляризатора на основе встраиваемых параллельных пластин

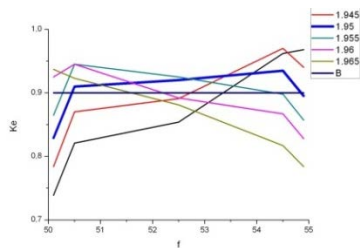


Рис. 8. Изменение КЭ при изменении поперечных размеров поляризатора

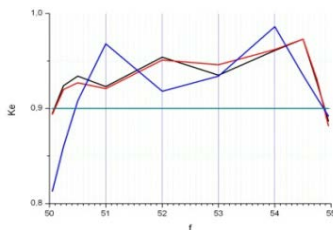


Рис. 9. Изменение КЭ после оптимизации конструкции поляризатора

В заключение, была предпринята попытка провести оптимизацию конструкции поляризатора за счет встраивания подстроечных элементов. Результаты оптимизации приведены на рис. 9.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что поляризатора на основе круглого волновода с параллельными металлическими пластинами более широкополосен и менее критичен к изменению поперечных и продольных размеров по сравнению с первыми двумя поляризаторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Воскресенский Д.И. Антенны и устройства СВЧ. /Под редакцией Д.И. Воскресенского /Д.И.Воскресенский, В.Л. Гостюхин, В.М.Максимов, Л.И.Пономарев. М.: Изд-во МАИ, 1999, 526 с.

ELECTRODYNAMIC MODELLING OF POLARIZATION TRANSFORMER

Sedelnikov Yu.E., Lavrushev V.N., Potapova O.V., Skachkov V.A.
(Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev)

Three types of polarizer are researched: polarizer based elliptical waveguide, circle section polarizer with dielectric slice and polarizer based on circle waveguide with parallel plates. The third type polarizer has best characteristics.

УДК 621.396.67

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ.

Лаврушев В.Н., Гилазов И.И.

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

В настоящее время широко используются космические линии связи (КЛС). Одним из основных устройств, обеспечивающих заданные параметры КЛС является антенно-фидерная система (АФС), к которой предъявляются ряд жестких требований, например, к электрическим характеристикам:

1. Коэффициент усиления должен быть не ниже 45...55 дБ при коэффициенте использования поверхности 0,6...0,7.
2. Значение шумовой температуры в промежутке 20...50 К.
3. Уровень боковых лепестков в пределах -25...-30 дБ.
4. Низкий уровень кроссполяризации и т.д.

В КЛС в основном используются зеркальные антенны (ЗА). Это наиболее распространённые типы антенн в УКВ диапазоне. Преимуществом ЗА является то, что они обеспечивают выше приведенные параметры.. Однако у ЗА есть некоторые недостатки: трудно реализовать низкий уровень боковых лепестков, снизить влияние отраженной от зеркала мощности на облучатель, эффекты затенение поля облучателем, переливание мощности на краях зеркала и т.д.

В настоящее время наметилась тенденция по использованию антенн, подобные антеннам бегущей волны, в замен ЗА. Здесь имеются в виду антенны вытекающей волны.

Антенны вытекающей волны строятся на базе полосковых линий, выполненных с использованием технологии печатных плат.

У антенны такого типа есть ряд преимуществ, среди которых важно отметить высокую технологичность и точность изготовления элементов. Антенна имеет плоскую поверхность и малую толщину, соответственно малую массу. Из-за такой формы уменьшается сопротивление ветру на 10-20% по сравнению с 3А, а также установка на разные летательные аппараты становится легче [1].

Антенна представляет собой систему параллельных излучающих полосковых линий. Все полосковые линии излучают синфазно. Расстояние между линиями зависит от частоты сигнала. Антенна должна излучать по нормали к поверхности раскрыва.

В своё время на кафедре РТС были спроектированы 2 типа антенны на основе вытекающей волны в секторном и прямоугольном исполнении антенны с низким миделем.

Было проведено электродинамическое моделирование этих антенн в программной среде CST MICROWAVE STUDIO.

На рис.1 и рис.5 представлены конструкции этих антенн в 3D изображении.

Антенна вытекающей волны в секторном исполнении состоит из:

1. Возбуждающего устройства в виде прямоугольного волновода, переходящего в Н рупор
2. Печатной секторной платы с нанесенными излучателями в виде полосок толщиной 50мкм. Толщина печатной платы 2 мм.

Антенна в прямоугольном исполнении состоит из:

1. возбуждающего устройства в виде прямоугольного волновода
2. Н-рупор высотой, равной узкой стенке волновода – 3,4 мм
3. отражателя в виде двух металлических цилиндрических поверхностей, расположенных по углу 90 градусов.
4. печатной прямоугольной платы с нанесенными излучателями в виде полосок толщиной 50мкм. Толщина печатной платы 2 мм.

Ниже приведены результаты исследований для антенны с секторным раскрывом. На рис.1 приведена объемная модель антенны и диаграммы направленности в 3D изображении, а на рис.

2 – ДН в декартовой системе координат. На рис. 3 и 4 приведены графики КСВ и коэффициента отражения в полосе частот. Как следует из графиков, согласование в полосе частот не хуже 1.35, а S_{11} не хуже 0.15.

Исследования показали, коэффициент усиления спроектированной антенны равен 31.2 дБ, что соответствует теории.

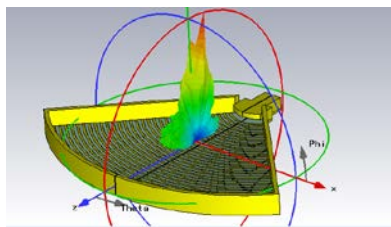


Рис. 1. ДН в 3D изображении.

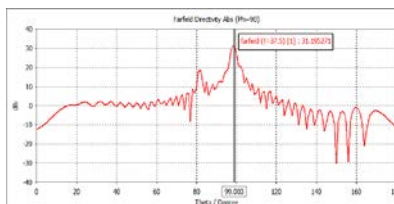


Рис. 2. ДН в декартовой системе координат.

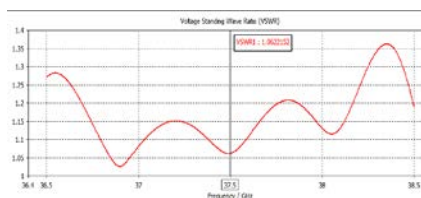


Рис. 3. КСВ по напряжению.

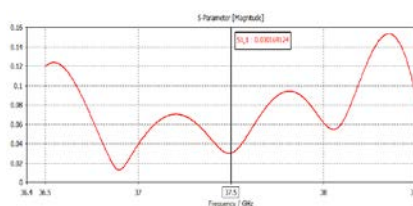


Рис. 4. Коэффициент отражения.

Аналогичные исследования были проведены для антенны с прямоугольным раскрытием. Результаты исследования приведены на рисунках 5 – 8.

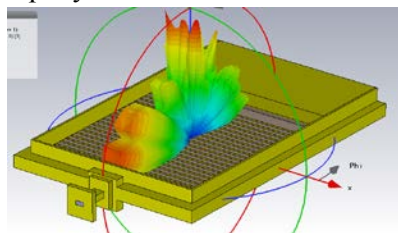


Рис. 5. ДН антенны с прямоугольным раскрытием.

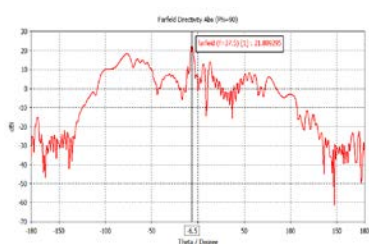


Рис. 6. ДН в декартовой системе координат.

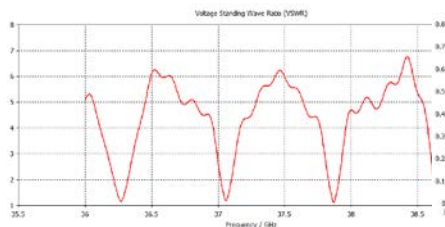


Рис. 7. КСВ по напряжению.

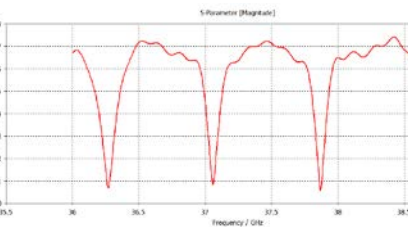


Рис. 8. Коэффициент отражения.

Разработанные антенны поверхностны волн обладают характеристиками не хуже ЗА, при этом обладают малой глубиной.

Разработано 2 типа антенн поверхностных волн, обладающих характеристиками, предъявляемыми к антеннам ЗС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Козырев Н. Д. Антенны космической связи. Учеб. Пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1990. – 160 с.

DESIGN OF FLAT ANTENNA FOR SYSTEM SPACE COMMUNICATION.

Lavrushev V.N., Gilazov I.I.

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

Developed 2 type of surface-wave antenna with the characteristics that apply to antennas of earth station.

СЕКЦИЯ 4. ФРАКТАЛЫ И ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ХАОС

Сопредседатели: Потапов А.А. д.ф.-м.н. (Москва);

Антипов О.И. д.ф.-м.н. (Самара);

Афанасьев В.В. д.т.н. (Казань).

УДК 519.6

НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЖЕКТОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С ФМ СИГНАЛАМИ И ХАОТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКОЙ.

Афанасьев В.В., Марданин Э.Р.

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

Задача повышения эффективности функционирования систем связи неразрывно связана с обеспечением необходимого подавления комплекса шумов и помех, присутствующих в реальных условиях эксплуатации, и требуемым уровнем конфиденциальности передачи данных. В связи с этим, особое внимание уделяется методам шумового маскирования, использующие маскирующие псевдослучайные сигналы, сформированные нелинейными системами с хаотической динамикой, например, системой Лоренца, при этом, для обеспечения требуемого подавления шумов и помех используются нелинейные режекторные фильтры [1]. Применение режекторного фильтра сигналов ограничено неизбежными нелинейными искажениями полезных сигналов [2], поэтому такие фильтры рекомендуется использовать в случаях, когда возможно выделение полезной информации при возникающем нелинейном преобразовании сигналов, например, в системах связи с фазовой манипуляцией (ФМ).

Целью работы является анализ устройства нелинейного режекторного фильтра в системах связи с ФМ сигналами и хаотической маскировкой.

Нелинейный режекторный фильтр сигналов, формируемых на основе системы Лоренца, представляет собой трехканальный цифровой фильтр, каждый из каналов которого настроен для избирательного подавления отдельно взятой компоненты

трехмерного сигнала, реализован согласно принципа двухканальности теории инвариантности [3]. В работе, при помощи компьютерного моделирования, исследовано прохождение через нелинейный режекторный фильтр сигналов системы Лоренца с информационными ФМ сигналами, оценено влияние частоты дискретизации сигналов на работу режекторного фильтра. В ходе исследований проведена оценка отношения среднеквадратического отклонения (СКО) выходного сигнала к СКО помехи (с/п) в зависимости от варьируемой временной дискретизации сигналов, определяемой нормированным числом отсчетов (N). Полученные результаты оценки зависимости отношения с/п от N, при коммутации на π фазы информационного ФМ сигнала, представлены на Рис.1.

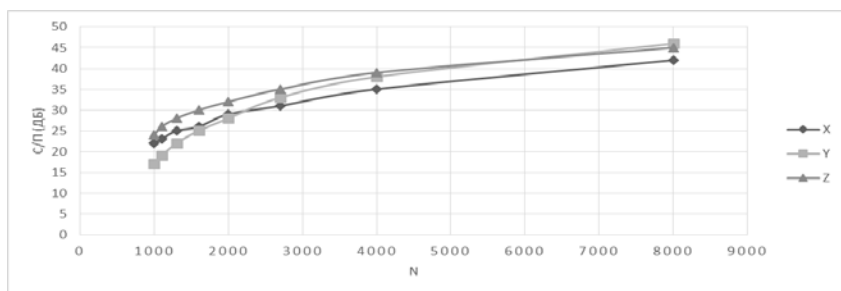


Рис.1. Зависимости отношения с/п от N на выходе каналов фильтра при входных маскируемых ФМ сигналах.

Установлено, что при входных информационных ФМ сигналах с коммутацией фазы на π , маскируемых псевдослучайными сигналами системы Лоренца, при отношении с/п на входе фильтра не ниже -27дБ, применение режекторного фильтра позволяет получить отношение с/п на выходе режекторного фильтра от 17 дБ до 45 дБ, при изменении N от 1000 до 8000.

Таким образом, преобразование полезных ФМ сигналов в нелинейном режекторном фильтре, при аддитивных маскирующих сигналах, формируемых на основе системы Лоренца, при входном отношении $\text{с/п} \geq -27$ дБ, сохраняет возможность выделения полезной информации на выходе фильтра, заключённой в коммутации фазы ФМ сигнала, с обеспечением на выходе фильтра отношения $\text{с/п} \geq 17$ дБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А. С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи.-М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002.-252с.

2. В.В. Афанасьев, Э.Р. Марданшин. Избирательное подавление трехмерных сигналов в системах конфиденциальной связи / XIV Международная научно-техническая конференция «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций», 27-29 ноября 2013 года. Самара, Россия. Материалы конференции: - Изд-во ПГУТИ, Самара, 2013. – С. 37-39.

3. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Марданшин Э.Р. Цифровые фильтры для избирательного подавления сигналов системы Лоренца с динамическим хаосом / Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике. Материалы VIII Всероссийской научно-технической конференции. – Чебоксары: Изд-во Чувашского ун-та, 2012. – С.183-184.

NONLINEAR REJECT FILTERS IN COMMUNICATION SYSTEMS WITH FM SIGNALS AND CHAOTIC MASKING

Afanasyev V.V., Mardanshin E.R.

*(Kazan national researchtechnical university
named after A.N. Tupolev)*

The modeling and experimental investigation of nonlinear reject filters in communication systems with FM signals and chaotic masking are carried out. The transformation of phase-shifted signals masked by Lorentz systems signals in the non-linear rejection filters are obtained.

УДК 519.6

ОБОБЩЕННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПОЛИГАУССОВЫ МОДЕЛИ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ

Афанасьев В.В., Логинов С.С.

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

Нелинейные системы с динамическим хаосом описывают явления в различных областях физики, биологии, техники и радиоэлектроники. Динамические системы характеризуются

большим разнообразием регулярных и хаотических мод. В настоящее время достаточно широко исследованы целые классы нелинейных динамических систем: Лоренца, Чуа, фазовой автоподстройки частоты, систем связанных генераторов, кольцевых автоколебательных систем Дмитриева-Кислова, генераторов с инерционной нелинейностью Анищенко-Астахова, дискретных нелинейных систем [1-4].

Система Лоренца является уникальной моделью многих физических процессов и явлений. Несмотря на то, что она достаточно широко исследована, ее анализ по-прежнему остается актуальным. Эта система является одной из немногих, которая представляет целый класс квазигиперболических динамических систем

$$\dot{X} = -\sigma(X - Y); \quad \dot{Y} = rX - Y - XZ; \quad \dot{Z} = -bZ - XY, \quad (1)$$

где X, Y, Z – пространственные переменные нелинейной системы с динамическим хаосом; r, σ, b – параметры системы Лоренца [1].

В настоящее время отсутствуют общие аналитические методы решения систем нелинейных дифференциальных уравнений, поэтому интерес многих авторов сосредоточен на математическом моделировании и экспериментальных методах исследований. В работе [4] для описания распределений вероятностей сигналов, формируемых системами с хаотической динамикой, был использован метод полигауссовых представлений. Показана возможность аппроксимации распределений вероятностей нелинейных динамических систем смесями распределений Гаусса с числом компонент не более трех с приемлемой для инженерных приложений точностью.

В работе [4] на основе представлений сигналов в виде импульсных случайных процессов развит метод негармонического спектрального анализа сигналов систем с динамическим хаосом.

Целью данной статьи является анализ распределений вероятностей сигналов системы Лоренца на характерных временных участках ее типовой динамики, определенных методом негармонического спектрального анализа сигналов.

Реализации сигналов системы Лоренца получены путем численного интегрирования систем дифференциальных уравнений (1) методом Эйлера при значениях параметров, обеспечивающих

хаотическую динамику. Для выделения на сигналах участков с типовым поведением использованы гистограммы параметров дробно-степенного представления вида

$$M(t) = \sum_k \left[A_k \left(\frac{t - t_k}{\tau_k} \right)^{\alpha_k} + B_k \right] \quad (2)$$

Выражение (2) позволило получить оценки параметров амплитуды A_k , длительности τ_k и степени α_k для совокупности интервалов разложения, по которым были оценены гистограммы параметров разложения. Эти гистограммы и являются негармоническими спектрами сигналов. Полученные в [4] гистограммы имеют достаточно изрезанный вид с локализациями вблизи характерных для данных сигналов и систем значений. Такие локализации позволяют выделить на сигналах систем с хаотической динамикой временные участки с типовым для выбранных режимов поведением. На оценённых гистограммах выделены локальные образования, которые позволили выявить на сигналах участки с типовым поведением.

Выделение характерных областей реализаций сигналов делает необходимым проведение более детального анализа распределений вероятностей сигналов в соответствующих областях. Для описания распределений вероятностей сигналов на участках с типовым поведением использованы их полигауссовы представления.

Анализ с помощью предлагаемого подхода сигналов Y , Z системы (1) показывает, что для аппроксимации распределений вероятностей сигналов системы на характерных временных участках типовой динамики с погрешностью 5% необходимо не более трех – семи компонент распределений Гаусса. Число выделяемых характерных участков сигналов с использованием негармонического спектрального анализа не превышает трех. Выделяемые характерные участки сигналов имеют четкую связь с процессами, происходящими в системе и позволяют различать: движения в окрестности состояний равновесия системы (1) и переходы между ними, области с быстрым и медленным ростом текущего значения сигнала, области с большим и меньшим значением амплитуды или области с характерной длительностью сигналов. Полученное полигауссово представление распределений вероятностей сигналов системы Лоренца на характерных

временных участках типовой динамики, определенных методом негармонического спектрального анализа сигналов на базе представления в виде импульсных случайных процессов, дает возможность предложить для приема, обнаружения и распознавания сигналов такого типа эффективные полигауссовские методы и алгоритмы, предложенные Ш.М. Чабдаровым. Для повышения эффективности выделения сигналов систем с хаотической динамикой при действии негауссовых помех целесообразна разработка моделей устройств для приема сигналов на фоне произвольных помех, что будет являться целью последующих работ.

Предложенные разложения сигналов, порождаемых системой Лоренца, в обобщенные ряды Фурье по базису дробно-степенных функций времени, позволяет представить сигналы всех трех переменных системы с динамическим хаосом в квазидетерминированном виде (2). На основе проведенного в работе анализа определены взаимосвязи между выявленными участками сигналов системы Лоренца с типовой динамикой и распределениями вероятностей.

Число полигауссовых компонент, используемых для аппроксимации распределений вероятностей сигналов системы Лоренца в характерных областях типовой динамики систем не превышает семи при погрешности аппроксимации не более 5%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. М.: Физматлит, 2003. 496с.
2. Афанасьев В.В., Логинов С.С., Ю.Е. Польский Анализ и синтез нелинейных радиоэлектронных динамических устройств и систем с варьируемым шагом временной сетки – Казань: Изд-во КГТУ, 2013, 220 с.
3. В.В. Афанасьев, С.С. Логинов. Полигауссовы модели в представлении распределений вероятностей сигналов нелинейной системы Лоренца с динамическим хаосом // Успехи современной радиоэлектроники. – 2012. – № 12. – С. 10 – 14.
4. Афанасьев В.В., Логинов С.С. Импульсные случайные процессы в анализе и диагностике нелинейных систем с динамическим хаосом // Радиотехника и электроника, 2013, том 58, № 4, С. 382 – 388.

**GENERALIZED SPECTRAL ANALYSIS AND POLY-GAUSSIAN
MODELS OF THE LORENZ SYSTEM'S SIGNALS**

Afanasiev V.V., Loginov S.S.

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

Development of new class of data carriers on the basis of non-linear system characterised by dynamic chaos is also one of the most important practical targets. The overall concern about the chaotical signals is first of all determined by their correlating and spectral characteristics similar to the characteristics of random signals. Probability distributions approximations of the Lorenz system signals in the typical dynamic areas is developed. Relationships between the typical dynamic areas and probability distributions were received. Minimum number of Gaussian distributions components for Lorenz systems distributions approximation were received. It is shown, that signals probabilities distributions of systems probably to approximate seven-componential poly-Gauss statistics an error not exceeding of 5 %.

УДК 519.6

**ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ДИАГНОСТИКА
РАДИОФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ХАОТИЧЕСКОЙ
ДИНАМИКОЙ**

**Афанасьев В.В., Данилаев М.П.,
Логинов С.С., Польский Ю.Е.**

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

Синтез управляющих воздействий, обеспечивающих стабилизацию параметров и характеристик режимов работы многомодовых радиофизических систем, неразрывно связан с оперативной диагностикой состояния таких систем, необходимой для оценки характеристик энергетически преобладающей в них моды. Исследования радиофизических систем с хаотической динамикой различной природы (плазма, лазеры, нелинейные радиоэлектронные устройства и системы) стимулировали разработку обобщенных методов диагностики и стабилизации их состояния и режимов поведения [1]. На современном этапе, для

математического описания радиофизических систем, на базе которого проводится их диагностика и стабилизация, применяют: описание системами нелинейных дифференциальных уравнений, которые в общем виде, как правило, не решаются; сведение многомодовых радиофизических систем к хорошо изученным нелинейным осцилляторам (Лоренца, Ресслера, Чуа, Дуффинга и другие); описание радиофизических систем на основе их многомодовых моделей, предполагающих разбиение многомодовых радиофизических систем на ряд подсистем или мод [2]. Отметим, что использование многомодовых моделей прежде всего целесообразно при диагностике состояния и режимов поведения радиофизических систем, подвергаемых внешним управляющим воздействиям.

Целью данной работы является диагностика и стабилизация многомодовых радиофизических систем с управляющими квазирезонансными и инерциальными воздействиями, на основе их обобщенной многомодовой модели.

Для описания состояния и поведения радиофизических систем в рамках многомодовой модели вводятся понятия мод состояния и мод поведения [3,4]. Математическая формализация многомодовой модели зависит не только от физической природы радиофизических систем, способа разбиения системы на моды, но также и от величины связи между модами. Ряд многомодовых радиофизических систем (например, таких как плазма, связанные генераторы, система высокочастотной накачки газовых лазеров) могут быть представлены в рамках многомодовой модели таким образом, что величина связи между модами оказывается относительно малой. Математическое представление таких многомодовых радиофизических систем может быть формализовано в виде ансамбля нелинейных осцилляторов с учетом малости связи между ними.

Одной из важнейших практических задач диагностики многомодовых радиофизических систем является выявление и стабилизация режимов их поведения, регулярных или хаотических (регулярные или хаотические моды поведения соответственно). При этом требуемая динамика поведения нелинейной системы может быть как регулярной (система ВЧ накачки газовых лазеров), так и хаотической (формирователи псевдослучайных сигналов).

Нелинейные системы с хаотической динамикой Лоренца, Чуа, Дуффинга, Ресслера и Ван-дер-Поля, описывающие широкий

набор радиофизических систем, представимы в виде обобщенных нелинейных осцилляторов. Предложен новый подход в диагностике состояния плазмы газового разряда на базе обобщенной многомодовой модели, позволяющей описать процессы формирования и управления формированием структуры плазмы, а также регулярные и хаотические режимы поведения плазмы. Обобщенная многомодовая модель использована при диагностике состояния плазмы и режимов систем накачки газовых лазеров на основе анализа свободных и диссипативных членов обобщенных осцилляторов многомодовой модели, учитывающей нелинейность плазмы газового разряда.

Получаемые на основе обобщенной многомодовой модели представления в виде обобщенных нелинейных осцилляторов, позволяют определить параметры радиофизических систем, обеспечивающие требуемый регулярный режим их поведения. Оптимизация параметров радиофизических систем на основе представления в виде обобщенного нелинейного осциллятора в работе выполнено применительно к цепи ВЧ возбуждения газовых лазеров. Определено оптимальное значение индуктивности, которому соответствует близкое к равномерному распределение электронной плотности в разрядной камере лазера. Полученные граничные значения индуктивности соответствуют границе превышения порогового значения тока в плазме, приводящего к контракции плазмы.

Предложен метод диагностики нелинейных радиофизических систем с хаотической динамикой на основе их многомодовых моделей. Показано, что квазирезонансные и инерциальные управляющие воздействия на параметры многомодовых систем позволяют обеспечить преобладание требуемой хаотической или регулярной моды поведения нелинейных радиофизических систем. Установлена эффективность и перспективность подхода управления многомодовыми дискретно-нелинейными системами с хаотической динамикой на базе вариации параметров временной сетки [5].

Проанализированы сравнительные возможности диагностики нелинейных радиофизических систем с хаотической динамикой типа Лоренца и Чуа по спектральным характеристикам порождаемых ими сигналов в различных базисах разложений в обобщенные ряды Фурье. Показано, что при перекрытии стандартных гармонических спектров переменных систем Лоренца

и Чуа, их дробно-степенные спектры имеют различия, позволяющее проводить диагностику регулярных и хаотических режимов многомодовых нелинейных радиофизических систем с хаотической динамикой.

Таким образом, обобщенная многомодовая модель радиофизических систем с регулярной и хаотической динамикой позволяет:

- на основе представления ансамбля мод состояния в виде обобщенного ряда Фурье, свести представление системы к ансамблю нелинейных осцилляторов;

- предложить новые средства диагностики состояния и повышения надежности работы радиофизических систем с регулярной и хаотической динамикой, путем стабилизации параметров и характеристик систем комплексными квазирезонансными и инерциальными воздействиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос: новые носители информации для систем связи.-М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002.-252 с.

2. Афанасьев В.В., Польский Ю.Е. Методы анализа, диагностики и управления поведением нелинейных устройств и систем с фрактальными процессами и хаотической динамикой: Монография. - Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. – 218 с.

3. Афанасьев В.В., Данилаев М.П., Польский Ю.Е. Физические фракталы, структуры, моды. Нелинейный мир. 2008. Т. 6. № 2. С. 110-113.

4. Афанасьев В.В., Данилаев М.П., Польский Ю.Е. Методы анализа, диагностики и синтеза сложных систем на основе обобщенных многомодовых моделей: Монография. - Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. – 136 с.

5. В.В. Афанасьев, С.С. Логинов, Ю.Е. Польский. Анализ и синтез нелинейных радиоэлектронных динамических систем и устройств с варьруемым шагом временной сетки: Монография. - Казань: Изд-во гос. техн. ун-та, 2013. – 231 с.

**INERTIAL INFLUENCES AND DIAGNOSTICS OF RADIO
PHYSICAL SYSTEMS WITH CHAOTIC DYNAMICS**

Afanasiev V.V., Danilaev M.P., Loginov S.S., Polsky U.E.

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

The diagnostics method for multimode radio physical systems with chaotic dynamics based on the multimode models is offered. It is shown that quasi-resonance and inertial controlling influence on the system's parameters can ensure the dominance of necessary chaotic or regular behavior mode of multimode radio physical systems. The new approach in diagnostics of gas discharge plasma condition on the bases of generalized multimode model was offered.

УДК 530.1

**ПЕРЕХОД К ДЕТЕРМИНИРОВАННОМУ ХАОСУ В
КЛАССИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ГРАВИТАЦИОННАЯ
МАШИНА»**

Немцева А.В., Косяк Е.Г., Шевяхов Н.С.

(СарФТИ НИЯУ "МИФИ")

Переход к стохастическому поведению занимает особое место в современных исследованиях динамических систем компьютерными методами [1,2]. Причиной этому являются как возможность затронуть концептуальные вопросы теории хаоса вместе с прикладными аспектами, так и наглядно представить результаты средствами компьютерной графики. Несмотря на достигнутые успехи остается, однако, остро стоящая проблема демонстрации перехода системы к хаосу на элементарной основе, – без привлечения представлений об отображениях Пуанкаре, странных аттракторах и других абстрактных конструкциях теории динамических систем. Важность ее решения в указанном ключе прежде всего диктуется образовательными целями и назревшей необходимостью введения понятия детерминированного хаоса в программы подготовки студентов естественно-технических специальностей по общей физике. Показано, что обозначенным требованиям хорошо удовлетворяет классическая модель «гравитационная машина» [2], описывающая упругое взаимодействие шарика, падающего в однородном поле тяготения Земли, с осциллирующей массивной платформой.

Динамическое поведение системы определяется вертикальным равноускоренным (вниз) или равнозамедленным (вверх) движением шарика $x=x(t)$ между актами соударения и осцилляционным движением платформы $X(t)=X_0\cos(\Omega t)$ также по вертикали. Для демонстрации детерминированного хаоса нет необходимости рассматривать всю последовательность непрерывно сменяемых со временем t динамических состояний. Достаточно ограничиться дискретными наборами состояний системы в моменты времени наивысшего подъема шарика τ_i и в моменты времени t_i его мгновенного взаимодействия с платформой ($i=1, 2, \dots, N$). Обозначая далее $h_i=x(\tau_i)$ – высота подъема шарика, $v_i=\dot{x}(t_i)$ – скорость шарика в момент упругого соударения с платформой, из уравнений школьной кинематики с учетом законов сохранения энергии и импульса, скорректированных на движение предельно массивной платформы [3], получим в качестве исходных не содержащие τ_i уравнения

$$x_i = h_{i-1} - g \frac{t_i^2}{2}, \quad x_i = X_0 \cos(\Omega t_i), \quad h_i = x_i + \frac{v_i^2}{2g}, \quad v_i = g t_i - 2 X_0 \Omega \sin(\Omega t_i). \quad (1)$$

В формулах (1) g – ускорение свободного падения, а величины X_0 , Ω и неявно входящая высота начального подъема шарика h_0 имеют смысл входных параметров задачи.

В 70-ые годы, когда Либерман и Лихтенберг предложили модель гравитационной машины для обоснования возможности разгона космических тел при движении вокруг вращающейся двойной звезды [2], основным динамическим показателем системы рассматривалась скорость. Это хорошо согласовывалось с принятой в классической физике манерой определять состояние системы на фазовой плоскости в канонических переменных $(x, \dot{x})$. Соответствующее сечение Пуанкаре в пространстве фазовых состояний получается из (1) явным выражением величин x_i, v_i и имеет вид

$$v_i = \sqrt{2g(h_{i-1} - x_i)} - 2\Omega\sqrt{X_0^2 - x_i^2}, \quad x_i = h_i - v_i^2/2g. \quad (2)$$

Заметим, что вычисление последовательностей $\{x_i\}, \{v_i\}$ ($i=1, 2, \dots, N$) по формулам (2) подразумевает выполнение начальных условий $x(0)=h_0, v(0)=0$ и вследствие неавтономности системы предполагает попутное вычисление как последовательности высот $\{h_i\}$, так и последовательности моментов времени $\{t_i\}$.

Действительно, первая из них получается с использованием рекуррентного соотношения

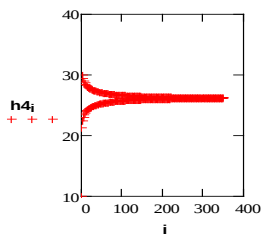
$$h_i - h_{i-1} = 2X_0\Omega \sin(\Omega t_i) \left[\frac{X_0\Omega}{g} \sin(\Omega t_i) - t_i \right], \quad (3)$$

которое в свою очередь требует знания последовательности $\{t_i\}$, определяемой, как следует из двух первых уравнений (1) исключением x_i , корнями трансцендентного уравнения

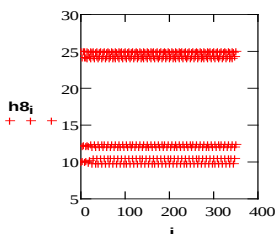
$$X_0 \cos(\Omega t_i) + g \frac{t_i^2}{2} - h_{i-1} = 0. \quad (4)$$

Компьютерный счет последовательностей $\{x_i\}, \{v_i\}$ по формулам (2)–(4) подтверждает происходящее с ростом критерия хаотичности системы $K=(X_0\Omega)^2/g$ от значений $K \sim 1$ к значениям $K \gg 1$ заполнение фазовыми точками сечения Пуанкаре, характерное для систем с детерминированным хаосом [1,2].

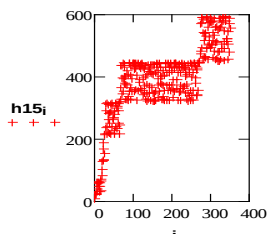
Для демонстрации перехода к хаосу удобнее, особенно в учебных целях, рассматривать не изменения координат фазовых точек в сечении Пуанкаре, а ход последовательности $\{h_i\}$ с изменением номера i взаимодействия шарика с платформой. Во-первых, легче концентрировать внимание на поведении одного – h , а не двух (x и v) показателях поведения системы. Во-вторых, именно h , а не x выступает естественной мерой отклика шарика на воздействие платформой. Наконец, при выборе h в качестве основного показателя вообще отпадает необходимость в рассмотрении уравнений (2). Результаты численного расчета в MathCad'e последовательностей $\{h_i\}$ по формулам (3), (4) представлены ниже для случая $g=9.8$, $X_0=2.4$, $h_0=10$, $N=350$ и варьируемых значений Ω .



$\Omega=2.85$



$\Omega=3.7$



$\Omega=4.27$

Полученные диаграммы показывают, что при $\Omega < 2.5$ система является детерминированной с выходом на единый уровень подскока шарика (единственный корень уравнения (3) с нулевой левой частью). С последующим увеличением Ω начинается постепенное расщепление уровня (левый рисунок), затем (средний рисунок) происходит перерасщепление уровней. Далее образуются межуровневые стохастические участки, – вначале по краям интервала изменения i , затем по всей области с возникновением серии геометрически подобных (фрактальный мотив) участков стохастичности на правом рисунке. Переход к полностью стохастическому поведению системы завершается измельчением этих участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шустер Г. Детерминированный хаос: введение. М.: Мир, 1988. 240 – с.
2. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука, 1984. – 272 с.
3. Калашников Н.П., Смондырев М.А. Основы физики. Т. I. М.: Лаборатория знаний, 2017. – 542 с.

TRANSITION TO THE DETERMINED CHAOS IN THE CLASSIC MODEL "GRAVITATIONAL MACHINE"

Nemtseva A.V., Kosyak E.G., Shevyakhov N.S.

(Sar PhTI of National Nuclear Research University "MEPhI")

It is found that the dynamic system like "gravitational machine" shows the transition to chaos consisting of stages: formation of steady level of a state with the subsequent splitting on some levels, randomization of inter-level space, fractal allocation of rectangular areas of a randomness, crushing of areas of a randomness to dots of completely chaotic curve.

УДК 004

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАЦА С ЭГЭГ СИГНАЛАМ

Черепашкина Д.В., Кирпичникова М.Ю.

*(ФГБОУ ВО Поволжский государственный университет
телекоммуникации и информатики)*

Компьютер можно характеризовать как новое средство познания. Компьютерный интерфейс обеспечивает прямую связь между органами человека и компьютером, переводя информацию в программный код, используя предварительную обработку, выделения признаков и классификации операций. Выделение признаков имеет решающее значение, поскольку оно оказывает существенное влияние на точность классификации и скорость Фрактальная размерность (англ. fractal dimension) — один из способов определения размерности множества в метрическом пространстве. Фрактальную размерность n -мерного множества можно определить с помощью формулы:

$$D = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(N_\varepsilon)}{\ln(\varepsilon)}$$

где N_ε — минимальное число n -мерных «шаров» радиуса ε , необходимых для покрытия множества. В то время как фрактальная размерность была успешно использована в различных областях, чтобы охарактеризовать данные, проявляющие фрактальные свойства, его использование в исследовании ЭГЭГ сигналов началось недавно. В этом исследовании, используются многие фрактальные методы оценки размерности, в том числе и методом временных рядов Каца.

Метод Каца основан на нахождение вектора признаков на основе фрактальной размерности. *Вектор признаков* - это вектор, каким-либо образом характеризующий входные данные. Хорошие результаты по этому методу можно получить из волнообразных сигналов которых присутствует гребни и впадины и в локальном соседстве формируют плоскую синусоидальную волну. Гребни задаются значением 1, а впадины — значением 0. Для каждой строки вычисляется фрактальная размерность по следующей формуле:

$$d_n = \frac{\log_{10}(N)}{\log_{10}(M_n)}$$

где M_n — общее число бинарных значений 1 в строке n .

Вектор признаков для всего сигнала можно построить как:

$$\Phi = \bigcup_{n=1}^N (n', d_n)$$
$$n' = \left[\frac{(d_n - 1)}{(n + 1) - n} \right] \cdot n = (d_n - 1)n,$$

где n' – горизонтальный коэффициент масштабирования $0 < n' < N$.

Данную модель можно применить к электрогастроэнтерографическим сигналам, имеющим волновую форму.

Метод Каца с применением метода k ближайших соседей приводит к самой высокой точности определения фрактальной размерности 85%, а также дальнейшее улучшение на 3% были достигнуты за счет модификации путем реализации зависящих от времени фрактальной размерности.

Реализуя метод зависящих от времени фрактальных размерностей в методе Каца с методом k ближайших соседей, мы можем измерить фрактальность в короткие промежутки времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нагорная, М.Ю. Аппаратный комплекс для регистрации потенциалов органов желудочно-кишечного тракта [Текст] // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2008: тез. докладов Международная научно-практическая Интернет-конференция, г. Одесса. - 2008. - Том 4.

2. Нагорная, М.Ю., Черепашкина Д.В., " Методы обработки электрогастроэнтерографических сигналов"[Текст] // 55 Студенческая научная конференция ПГУТИ, 2016.

APPLICATION OF THE KATZ METHOD WITH EGEГ SIGNALS

Cherepashkina D.V., Kirpichnikova M.Yu.

(Volga State University of Telecommunications and Informatics)

The Kats method, using the k nearest-neighbor method, leads to the highest accuracy of determining the fractal dimension. Realizing the method of time-dependent fractal dimensions in the Kac method with the method of k nearest neighbors, we can measure fractality in short intervals.

СЕКЦИЯ 5. УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ СВЧ- И КВЧ- ДИАПАЗОНОВ И ИХ ПРИЛОЖЕНИЕ

Сопредседатели: Бобрешов А.М. д.ф.-м.н. (Воронеж);

Усанов Д.А. д.ф.-м.н. (Саратов);

Морозов Г.А. д.т.н. (Казань);

Радионов А.А. д.т.н. (Нижний Новгород).

УДК 621.372.413

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДНОГО РЕЗОНАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТОВЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Белов Ю.Г., Нефедьев И.А., Пихтелев Н.А.

(Нижнегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Сedaкова)

Цилиндрические резонаторы, работающие на колебаниях типа H_{01n} , широко используются для измерения параметров диэлектриков, т.к. обладают высокими значениями добротности в сантиметровом диапазоне длин волн, что позволяет с помощью описанных выше резонаторов проводить высокочувствительные измерения. Обычно резонансные ячейки представляют собой сборно-разборные конструкции для обеспечения возможности введения в резонансную полость образцов диэлектриков. Такая особенность конструкции является дополнительным источником погрешности. Кроме того, изготовление образца диэлектрика специальной формы не всегда возможно или желательно (например, при необходимости измерения параметров листовых диэлектриков, размеры которых больше размеров резонансной ячейки). Применение

цилиндрического волноводного резонатора с кольцевой щелью в экране, рис.1, работающего на колебании H_{011} , позволяет

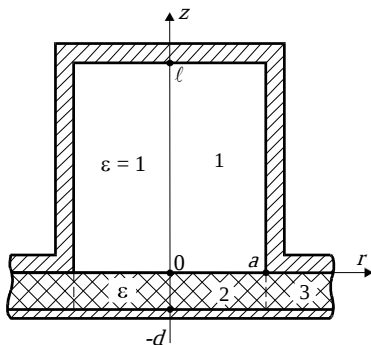


Рис.1 – Цилиндрический волноводный резонатор с кольцевой щелью в экране.

измерять параметры листовых диэлектриков без изготовления образцов специальной формы. Однако для обеспечения высокой точности определения параметров диэлектриков возникает необходимость учета особенностей конструкции резонансной ячейки. В докладе представлены результаты расчета резонансной частоты и добротности этого резонатора.

Для электродинамического расчета характеристик резонатора, рис. 1, используется метод частичных областей (МЧО). Разбиение резонатора на частичные области показано на рисунке.

Заполненную диэлектриком кольцевую щель между фланцем резонатора и нижним слоем металлизации (область 3) можно рассматривать как радиальный волновод, заперделенный на рабочей частоте. Предполагается, что протяженность щели (по радиусу) достаточна для того, чтобы волнами, отраженными от наружного края щели, можно было пренебречь.

В данном случае особенность математической модели исследуемого резонатора, построенной на основе МЧО, состоит в том, что на границах области 2 отсутствуют краевые условия, соответствующие задаче Штурма-Лиувилля. Поэтому строгое решение задачи требует представления поля в этой области в виде непрерывного спектра собственных функций (НССФ).

Авторами получена система интегральных уравнений (СИУ) Фредгольма 1-го рода относительно неизвестной спектральной функции в области 2. Алгебраизация полученной СИУ производилась методом выделения доминирующей части непрерывного спектра, т.е. путем его замены набором наиболее интенсивных составляющих. В докладе представлены результаты расчета резонансной частоты при диэлектрической проницаемости пластины $\varepsilon = 9,6$, соответствующей поликору. Данные расчетов свидетельствуют о хорошей сходимости разработанного расчетного алгоритма при увеличении числа учитываемых составляющих непрерывного спектра. Подробные численные исследования производились в 5-ом приближении, т.е. с учетом 5-ти составляющих непрерывного спектра. Расчет резонансной частоты был также произведен для экранированного резонатора с диэлектрической пластиной.

Как показали исследования, при малой толщине диэлектрической пластины радиальная щель слабо влияет на резонансную частоту: при $d/a = 0,1$ различие значений

резонансной частоты для исследуемого и экранированного резонаторов составляет 0,02%. С ростом d/a это влияние быстро растет: уточнение резонансной частоты за счет учета радиальной щели составляет 2% при $d/a = 0,3$ и 7% при $d/a = 0,5$.

В установках для измерения параметров диэлектриков толщина пластины обычно намного меньше геометрических размеров резонатора. При небольшой толщине пластины допустимо расчеты резонансной частоты, не требующие высокой точности, производить на основе упрощенной (полностью экранированной) модели резонатора. При $d/a < 0,2$ погрешность по отношению к результатам, полученным строгим методом, не превышает 1%. Очевидно, что на основе упрощенной модели можно также с достаточной для практики точностью рассчитать добротность резонатора.

Экспериментальные исследования производились с целью оценки возможности применения алгоритма, основанного на строгой модели резонатора, рис. 1, для определения относительной диэлектрической проницаемости ε листовых диэлектриков и приближенного алгоритма, основанного на экранированной модели резонатора – для определения тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$.

Измерения резонансной частоты и добротности резонатора производились по схеме «на проход».

Петли связи в боковой стенке резонатора были сделаны подвижными, что позволило регулировать степень связи посредством изменения глубины погружения петель связи в резонансную полость и определить такое значение глубины погружения, при котором влиянием петель можно пренебречь и использовать при расчете ε и $tg\delta$ формулы для ненагруженного резонатора.

При проведении измерений параметров диэлектриков использовались диэлектрические пластины, изготовленные из ряда известных материалов. В частности, в процессе измерений для диэлектрической пластины, изготовленной из материала ФЛАН-5, были получены следующие значения резонансной частоты и добротности: $f_p = 5477,5$ МГц; $Q = 23815$. С помощью расчетных алгоритмов для строгой и экранированной моделей резонатора

были получены следующие параметры материала: $\varepsilon = 5,03$; $\operatorname{tg} \delta = 15,6 \cdot 10^{-4}$, которые весьма близки к справочным значениям.

Для других пластин результаты также находятся в хорошем соответствии со справочными данными, что свидетельствует о возможности использования цилиндрического металлодиэлектрического резонатора с кольцевой щелью в экране, рис. 1, для «неразрушающих» измерений параметров листовых диэлектриков.

USE OF THE CYLINDRICAL WAVEGUIDE RESONATOR FOR MEASUREMENT OF PARAMETERS OF THE SHEET DIELECTRICS

Yu.G. Belov, I.A. Nefed'ev, N.A. Pikhteleev

*(Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev,
Research institute of measuring systems n.a. Yu.E. Sedakov)*

The construction of a measuring cell on the basis of the cylindrical resonator with oscillations type of H_{01n} allowing to perform measurements of parameters (the relative dielectric permittivity and a dielectric loss tangent) of sheet dielectrics without manufacture of a sample of the special form is considered. Results of calculation of resonance frequency and Q-factor of the researched resonator by a strict method with use of a method of the partial areas with the continuous range of own functions, and also on the basis of approximate model without ring slots in a resonant cell are provided. Results of calculation are compared with experimental measurements.

УДК 621.373.8

ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЗОНДА БЛИЖНЕПОЛЕВОГО СВЧ МИКРОСКОПА

Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Астахов Е.И., Добдин С.Ю.

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

Важным фактором, определяющим особенности работы бесконтактных зондовых микроскопов, является контроль величины зазора между зондом и измеряемой поверхностью. В

зависимости от типа зондового микроскопа и режима его работы расстояние между зондом и измеряемой поверхностью может варьироваться от долей нанометра до сотен нанометров [1]. В связи с этим представляет интерес использовать для контроля расстояния полупроводниковые лазерные автодины.

Нами для измерения наносмещений предлагается использовать токовую модуляцию длины волны лазерного излучения. В этом случае величина наноперемещений будет определять величину стационарной фазы автодинного сигнала. Представляет интерес рассмотреть возможность применения автодинного измерителя, работающего в режиме гармонической модуляции длины волны лазерного излучения [2], для измерения наноперемещений зонда сканирующего ближнеполевого СВЧ микроскопа, что составляло цель настоящей работы.

Измерения проводились с использованием электромагнитного транслятора фирмы STANDA модель 8MVT40-13, входящего в состав действующего макета ближнеполевого сканирующего СВЧ микроскопа. В состав измерительной установки входили частотномодулированный полупроводниковый лазерный автодин на лазерном диоде RLD-650(5) на квантоворазмерных структурах с дифракционно-ограниченной одиночной пространственной модой с длиной волны 650 нм, закрепленный на держателе зонда ближнеполевого СВЧ зонда. Излучение полупроводникового лазера направлялось на объект, закрепленный на трансляторе ближнеполевого СВЧ микроскопа. Модуляция длины волны излучения проводилась на частоте 100 Гц посредством модуляции тока питания лазера.

Из полученных результатов погрешность определения величины наноперемещений ΔL по набору спектральных составляющих спектра автодинного сигнала не превышала 15%.

Таким образом, применение модуляции длины волны излучения позволяет создать лазерную автодинную систему измерения наносмещений без использования наложения на объект дополнительных механических вибраций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственное задание № 8.7628.2017/БЧ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Imtiaz and S. M. Anlage. Effect of tip geometry on contrast and spatial resolution of the near-field microwave microscope. // Journal of Applied Physics. 2006. 100. 044304
2. Usanov D. A., Skripal A. V., Astakhov E. I. Determination of nanovibration amplitudes using frequency-modulated semiconductor laser autodyne // Quantum Electronics. 2014. 44 (2). P.184–188.

LASER CONTROL METHOD OF NANODISPLACEMENTS OF THE NEAR-FIELD MICROWAVE MICROSCOPE

D.A. Usanov, A.V. Skripal, E.I. Astakhov, S.Yu. Dobdin

(Saratov State University)

The results of measuring nanodisplacements of an electromagnetic translator STANDA 8MVT40-13 have been demonstrated. Deviation of the nanodisplacement of the proposed method does not exceed 15%.

УДК 621.372.2

СВЧ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Мерданов М.К., Евтеев С.Г., Фролов А.П.

(ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»,

ИРЭ имени В.А. Котельникова РАН,

АО «НПЦ «Электронное приборостроение»)

Волноводные фотонные кристаллы с диэлектрическим заполнением

В последнее время растет интерес к исследованиям нового класса периодических структур, называемых фотонными кристаллами. В [1] показана возможность создания волноводного фотонного кристалла с перестраиваемым частотным положением окна прозрачности и управляемым с помощью *p-i-n*-диодов величиной затухания в этом окне (рис. 1).

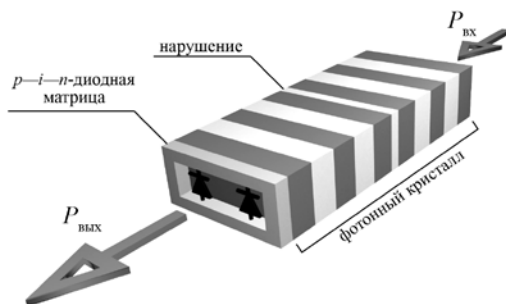


Рис. 1. Расположение фотонного кристалла и $p-i-n$ -диодной матрицы

К матрице $p-i-n$ -диодов прикладывалось управляющее напряжение, регулируемое в диапазоне 0–700 мВ. Из результатов эксперимента следует, что использование СВЧ фотонного кристалла позволяет создать СВЧ переключатель с электрически регулируемыми характеристиками от –1.5 дБ до –25 дБ при изменении напряжения смещения на $p-i-n$ -диодах от 0 до 700 мВ.

Волноводные фотонные кристаллы на резонансных диафрагмах

Исследуемый фотонный кристалл представлял собой структуру, состоящую из семи периодически расположенных в прямоугольном волноводе металлических резонансных диафрагм [2]. Для управления резонансными свойствами таких фотонных кристаллов использовалась $n-i-p-i-n$ -диодная матрица, состоящая из четырех диодных элементов, размещенных в центральной диафрагме, выполненной в виде двух прямоугольных щелей (рис. 2).

Изменение величины удельной электропроводности i -слоя $n-i-p-i-n$ -структуры от 0 до 10^4 См/м приводит к монотонному уменьшению коэффициента прохождения на частоте примесной моды колебаний от –0.65 дБ до –40.6 дБ. При этом в изменении коэффициента отражения наблюдается особенность: при увеличении удельной электропроводности i -слоя в диапазоне в диапазоне от 0.4 до 10^4 См/м монотонно увеличивается от –47.5 дБ до –0.3 дБ (см. рис. 3). Увеличение удельной электропроводности i -слоя $n-i-p-i-n$ -структуры до значений больших 20.0 См/м приводит к исчезновению примесной моды колебаний на частоте $f_{1\text{теор}}$ и возникновению на частоте $f_{2\text{теор}}=9.47$ ГГц, отличной от $f_{1\text{теор}}$.

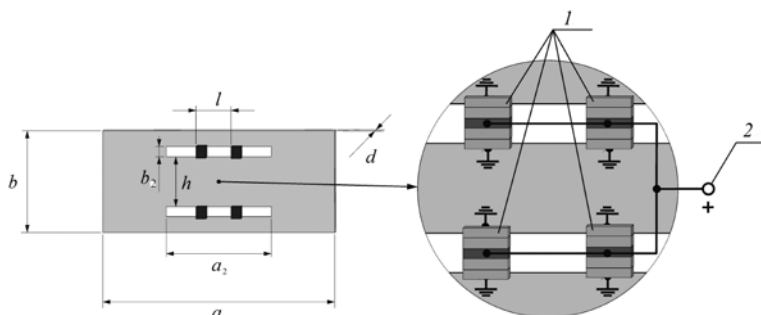


Рис. 2. Конструкция с $n-i-p-i-n$ -диодной матрицей, выполняющей роль нарушения фотонного кристалла 1–диодная матрица, 2– источник постоянного напряжения

Экспериментально исследовался фотонный кристалл, созданный в соответствии с описанной выше моделью. Изменение величины управляющего тока $n-i-p-i-n$ -структуры от 0 до 8.15 мА приводит к уменьшению коэффициента отражения на частоте примесной моды колебаний $f_{2\text{эксп}}$ от -0.1 дБ до -48.0 дБ.

Волноводные структуры с запрещенными зонами, созданные на основе рамочных элементов

Свойствами фотонного кристалла такими, как наличие запрещенной и разрешенной зон, обладают структуры кольцевого типа. Зонный характер спектра в таких структурах достигается вследствие многократного отражения от неоднородности в структуре. В [3] приведены характеристики такого рода структур в волноводном исполнении (см. рис. 3). В качестве неоднородности в них использовался элемент типа «металлический штырь с зазором» и полупроводниковая $n-i-p-i-n$ -структура, расположенная в зазоре между штырем и рамочным элементом.

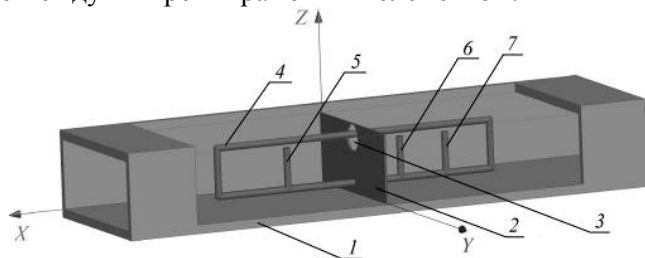


Рис. 3. Модель СВЧ-элемента на основе диафрагмы и системы связанных рамочных элементов: 1 – волновод, 2 – диафрагма, 3 – отверстие, 4 – рамочный элемент, 5–7 – неоднородности типа «штырь с зазором»

Из полученных результатов расчета следует, что изменение величины удельной электропроводности управляющего элемента от 10^{-3} до 10^5 См/м приводит к изменению коэффициента прохождения на частоте 9.44 ГГц, соответствующей пику запираания, в диапазоне значений $-36.79 \dots -1.01$ дБ.

Экспериментально было показано, что подача напряжения смещения на $n-i-p-i-n$ -структуру в диапазоне 0–9 В привела к изменению коэффициента прохождения от -25 дБ до -1.5 дБ на частоте 9.644 ГГц.

Микрополосковые фотонные кристаллы

В работе [4] экспериментально исследовались частотные зависимости потерь затухания на отражение СВЧ-излучения, взаимодействующего с микрополосковым фотонным кристаллом, нагруженным на резонансную систему в виде конденсатора и петлевого элемента связи с $p-i-n$ -диодом.

Рассматривалось изменение амплитудно-частотных характеристик потерь затухания при расположении на фотонной структуре образцов с различной диэлектрической проницаемостью. При этом образцы располагались так, как показано на рис. 4, непосредственно на фотонной структуре, над одним из ее отрезков, который выполняет роль нарушения фотонной структуры. Показано, что частотные зависимости потерь затухания демонстрирует высокую чувствительность к величине диэлектрической проницаемости образца, размещенного на фотонной структуре.

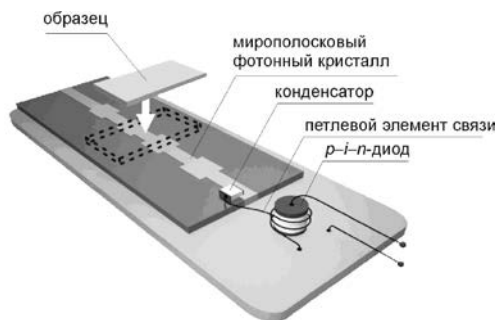


Рис. 4. Микрополосковый фотонный кристалл, нагруженный на резонансную систему с образцом, расположенным непосредственно на фотонной структуре

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственное задание № 8.7628.2017/БЧ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Усанов Д. А., Скрипаль А. В., Абрамов А. В., Боголюбов А. С., Скворцов В. С., Мерданов М. К. Волноводные фотонные кристаллы с характеристиками, управляемыми р-і-п-диодами// Известия вузов. Электроника. 2010. №1. С. 24–29.
3. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Мерданов М.К., Евтеев С.Г. Волноводные фотонные структуры на резонансных диафрагмах// Радиотехника. 2015. № 10. С. 108–113.
4. Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Фролов А.П., Орлов В.Е. Волноводы, содержащие рамочные элементы с электрически управляемыми характеристиками разрешенных и запрещенных зон// Радиотехника и электроника. 2014, том. 59. № 11. С. 1079–1084.
5. Усанов Д.А., Никитов С.А. Скрипаль А.В., Куликов М.Ю. Управляемые рпн-диодами фотонные кристаллы и их применение// Антенны. №3. 2012. С. 9–14.

MICROWAVE PHOTONIC CRYSTALS WITH ELECTRICALLY CONTROLLED CHARACTERISTICS

***Usanov D.A., Nikitov S.A., Skripal A.V., Merdanov M.K.,
Evteev S.G., Frolov A.P.***

*(Saratov State University named after N.G. Chernyshevsky,
Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics, Russian
Academy of Sciences, JSC «Research and Production Association
«Electronic Device Engineering»)*

The results of investigations of waveguide and microstrip photonic crystals with electrically controlled characteristics have been presented. The designs of photonic crystals with electrically controlled characteristics based on microstrip lines and waveguides with dielectric filling, with resonant diaphragms and frame elements, which can be used both for the creation of microwave switches, selectors, signal modulators, and high-sensitivity systems for measuring materials parameters at microwaves have been proposed.

УДК 621.372.2

ШИРОКОПОЛОСНАЯ СОГЛАСОВАННАЯ НАГРУЗКА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В.,

Мерданов М.К., Михайленко Д.А.

*(Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского,
АО «НПЦ «Электронное приборостроение»)*

Брэгговские структуры с фотонной «запрещенной» зоной демонстрируют также наличие зон, разрешенных для распространения волн в определенных частотных диапазонах, в которых может быть осуществлено поглощение энергии волны при наличии проводящих элементов в конструкции брэгговской структуры [1]. Такое свойство было использовано авторами [2] для создания малогабаритных слоистых СВЧ согласованных нагрузок.

Для терагерцового диапазона по результатам компьютерного моделирования была изготовлена широкополосная волноводная согласованная нагрузка, с диэлектрическими слоями из керамики (Al_2O_3 с диэлектрической проницаемостью 9.6 и толщиной 150 мкм) и тефлона (с диэлектрической проницаемостью 2.0 и толщиной 340 мкм). Нанометровые металлические слои (Cr) напылялась на керамическую подложку Al_2O_3 толщиной 150 мкм. Измерения частотных зависимостей КСВН (рис. 1) в диапазоне частот 140–210 ГГц, проводились с помощью векторного анализатора цепей Agilent PNA N5242A и блоков расширения VDI WR 5.1. В результате эксперимента было получено значение КСВН < 1.3 в диапазоне частот 140–210 ГГц, Длина слоистой структуры согласованной нагрузки составила менее 0.9 мм.

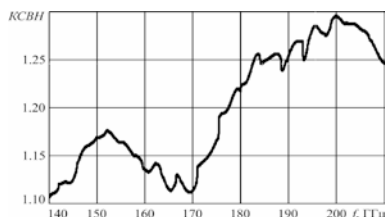


Рис. 1. Экспериментальная частотная зависимость КСВН в диапазоне 140–210 ГГц

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (государственное задание № 8.7628.2017/БЧ) и стипендии Президента РФ (СП-2622.2015.3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yablonovitch E., Gmitter T.J., and Leung K.M. // The American Physical Society. 1991. Vol. 67. № 17. P. 2295–2298.
2. Усанов Д.А., Мещанов В.П., Скрипаль А.В., Попова Н.Ф., Пономарев Д.В., Мерданов М.К. Согласованные нагрузки сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн на СВЧ фотонных кристаллах // ЖТФ. 2017. Т. 82. Вып. 2. С. 216–220.

TERAHERTZ WIDEBAND MATCHED LOAD ON METAL-DIELECTRIC LAYERED STRUCTURE

**Usanov D.A., Skripal A.V., Ponomarev D.V.,
Merdanov M.K., Mikhaleenko D.A.**

*(Saratov national research state university named after
N.G. Chernyshevsky, JSC “RPA “Electronic device engineering”)*

A small-sized broadband waveguide matched load based on layered metal-dielectric structure and demonstrated the values of the voltage standing-wave ratio less than 1.3 at all frequency range 140-210 GHz has been created. The length of the structure was less than 0.9 mm.

УДК 621.396.96

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ЧАСТЬ 1

Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е.

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

Для оценки свойств характеристик частотно-селективных поверхностей были решены следующие задачи:

- 1) Создана виртуальная модель пирамидальной рупорной антенны из волновода 23х10, которая работает на частоте 9,8 ГГц. Создана виртуальная модель делителя, из волновода 90х45, в котором осуществляется поворот фазы, что было необходимо для

проведения разностного сравнения ЧСП. Затем был проведен анализ частотно-селективных поверхностей.

2) Проведен анализ частотно-селективных поверхностей. Лучшими характеристиками обладают следующие поверхности: ЧСП с полосками длиной $\lambda/4$ ($S_{11}=-21,7$ dB, $S_{21}=-23,2$ dB); ЧСП с полосками длиной $\lambda/8$, которые расположены на расстоянии $\lambda/4$ ($S_{11}=-21,7$ dB, $S_{21}=-23,2$ dB); ЧСП с комбинированной структурой, содержащей полоски длиной $\lambda/4$ ($S_{11}=-22$ dB, $S_{21}=-24$ dB)

3) Разработаны методы управления частотно-селективными поверхностями тонкими проводниками и диодами. Замыкая, тем или иным способом, полоски происходит увеличение электрической длины полоска. Лучшими характеристиками из исследованных моделей обладает модели с полосками длиной $\lambda/8$, расположенных на расстоянии $\lambda/8$ и с попарно замкнутыми вертикальными полосками. Коэффициенты отражения и передачи составили -18,7 дБ и -26,3 дБ соответственно. Для исследования характеристик частотно-селективной поверхности, где для управления используется диод, была выбрана модель с полосками длиной $\lambda/8$, расположенными на расстоянии $\lambda/8$. Все вертикальные полоски были попарно соединены диодами. Коэффициенты отражения и передачи составили -18,2 дБ и -42,3 дБ соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е. Анализ характеристик управляемой частотно-селективной поверхности в СВЧ диапазоне // Инженерный вестник Дона. 2017. №2, URL:<http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4233>

2. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М. Исследование характеристик управляемой частотно-селективной поверхности // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016», Изд. ООО «16ПРИНТ», 2016, с.158-160

EVALUATION OF THE PROPERTIES OF FREQUENCY-SELECTIVE PART 1

Vedenkin D., Sharonov D.

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

This report presents the research questions characteristics of frequency-selective surfaces distributed microwave structures. The results of studies of some computer models.

УДК 621.396.96

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ЧАСТЬ 2

Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е.

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

Новизна работы реализована в возможности управления частотно-селективной поверхностью, с внесенными в нее периодическими структурами.

На сегодняшний день в передающей и приемной технике все большее значение приобретают частотно-селективные поверхности. Данные структуры можно использовать в качестве экранов, для решения электромагнитной совместимости.

Для проведения моделирования были созданы модели рупорных антенн и делителя, на выходе которого сигналы находятся в противофазе.

Модель частотно-селективной поверхности представляет собой лист фторопласта, в котором находятся неоднородности из токопроводящего материала. Сначала исследования проводились с использованием двух рупорных антенн, одна являлась передающей, а вторая приемной. Между антеннами находилась исследуемая частотно-селективная поверхность.

Для исследования разностной модели был использован делитель. Над одним из его выходов располагалась модель ЧСП, а выше находился приемный порт. Таким образом можно понять, какая из исследуемых ЧСП более эффективна.

В данной главе были рассмотрены характеристики частотно-селективных поверхностей без управления. Были исследованы ЧСП с неоднородностями в виде полосков длиной $\lambda/4$, $\lambda/8$, а также с применением круглых и комбинированных

(состоящих из полосков и круглых неоднородностей) на частоте 9,814 ГГц

Затем были рассмотрены управляющие элементы для частотно-селективных поверхностей. Первым рассмотренным вариантом являются перемиčky, представляющие собой тонкие проводники, соединяющие между собой полоски. Проведен анализ характеристик с горизонтальными и вертикальными соединенными полосками. Наиболее эффективным является метод, при котором соединены вертикальные полоски.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е. Анализ характеристик управляемой частотно-селективной поверхности в СВЧ диапазоне // Инженерный вестник Дона. 2017. №2, URL:<http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4233>

2. Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е., Ишкаев Т.М. Исследование характеристик управляемой частотно-селективной поверхности // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2016», Изд. ООО «16ПРИНТ», 2016, с.158-160

EVALUATION OF THE PROPERTIES OF FREQUENCY-SELECTIVE PART 2

Vedenkin D., Sharonov D.

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

This report presents the research questions characteristics of frequency-selective surfaces distributed microwave structures. The results of studies of some computer models.

УДК 621.396.1

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 1. СОЗДАНИЕ
МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА**

***Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

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

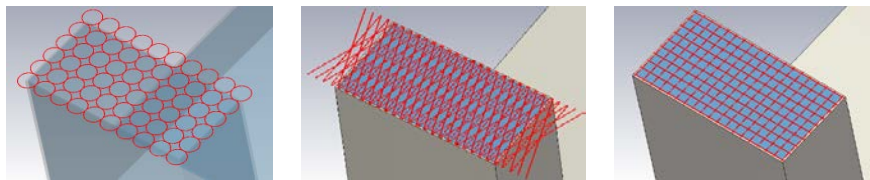
Сетчатые материалы получили широкое распространение во многих сферах. Они позволяют создавать прочное, надежное и долговечное покрытие для широкого диапазона применения, от заборов до покрытия антенн[1].

Использование сетчатых материалов при изготовлении изделия помогает добиться поставленных результатов[2] (к примеру, получить это высокий коэффициент отражения), а так же существенно уменьшить вес и размер изделия. Это прямым образом влияет на снижении затрат при производстве.

Один из способов применения сетчатых материалов можно считать расчёт волноводного тройника с использованием резонансного метода[3]. С помощью данного метода появляется возможность измерения менее чувствительными приборами с приемлемой точностью. Это достигается путем проведения измерений в точке резонанса, которого позволяет достичь волноводный Е – тройник, основанный на четвертьволновом короткозамкнутом шлейфе. В представленной работе резонансный метод рассматривается при конструировании антенн для космических аппаратов.

Задача контроля параметров при использовании различных типов плетений важна, потому что каждое плетением может иметь различные параметры.

На рисунке 1 представлены варианты трёх типов плетения, которые могут быть использованы при расчёте волноводного тройника.



а

б

в

Рис. 1 Виды плетений: а – кольчужная сетка; б – сетка «ромб с одной диагональю»; в – сетка с прямоугольным плетением.

При моделировании будет наблюдаться зависимость величины коэффициента отражения от типа выбранной сетки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://ardiss.ru/o-nas/poleznaya-informacziya/stati-po-teme-stroitelstva/sjetchatyje-matjerialy-dlja-izgotovljenija-zaborov-pljusy-i-vidy/> Дата обращения 13.06.2017.
2. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.
3. Веденькин, Д.А. Оценка параметров материалов резонансным методом // Д.А.Веденькин, Насыбуллин А.Р., Хабибуллин Р.Р.//Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2016. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 149-151.

ANALYSIS OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NET MATERIALS. PART 1. CREATING A MODEL OF MATERIAL

Marshova A.M., Kachushkin M.N., Khabibullin R.R.

Supervisor: Y.E. Sedelnikov, D.Sc. Professor
(Kazan National Research Technical University
n.a. A.N. Tupolev – KAI)

In this paper, the relevance of the use of mesh materials is considered.

УДК 621.396.1

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 2.
РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ**

***Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

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

В данной работе будет рассматриваться резонансный метод. Резонансный метод оценки параметров основан на четвертьволновом волноводном шлейфе – Е-тройник, который накрывается сверху измеряемым материалом.

Использование резонансного метода [1] при оценке параметров материала является достаточно простым. Моделью системы является волноводный Е – тройник [2] верхний порт которого накрывается измеряемым материалом, а внутри волновода находится вакуум.

Идеальные условия, при которых на резонансной частоте волновода отсутствовал бы сигнала -не могут быть осуществлены в полной мере по ряду причин, поэтому сигнал все-таки будет присутствовать. Но из-за этого так же будет значительно ослаблена его величина. Она будет зависеть от параметров материала, который будет приставлен к разъему. Судить о достоинствах сетчатых материалов можно по такому параметру, как коэффициент отражения. Для этого при моделировании тройникового волновода резонансным методом на верхний фланец волновода нужно прикрепить рассматриваемый материал. Таким образом можно будет судить о параметрах рассматриваемого материала, которые в дальнейшем может быть использован в антенных система [3 - 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин, Д.А. Оценка параметров материалов резонансным методом // Д.А.Веденькин, Насыбуллин А.Р., Хабибуллин Р.Р.//Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2016. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 149-151.

2. Oliner, Arthur A, "The evolution of electromagnetic waveguides: from hollow metallic guides to microwave integrated circuits", chapter 16 in, Sarkar et al., History of Wireless, Wiley, 2006

3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

5. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.

ANALYSIS OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NET MATERIALS. PART 2. RESONANCE METHOD OF ESTIMATION OF PARAMETERS

Marshova A.M., Kachushkin M.N., Khabibullin R.R., Sedelnikov Y.E.
(Kazan National Research Technical University
n.a. A.N. Tupolev – KAI)

Abstract: In this paper, we present a model for the realization of the resonance method using a waveguide tee and mesh materials.

УДК 621.396.1

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 3.
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ**

***Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

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

В настоящее время специалисты ищут методы для уменьшения веса и размеров конструкций. Тем самым они получают возможность снизить расходы при изготовлении изделия (например, БРА или сфокусированные-антенные решётки [1-4]).

Анализ параметров материалов будет осуществляться с помощью компьютерного моделирования[5]. Они будут напрямую зависеть от типа плетения проводника.

Целью работы будет: - улучшение эксплуатационных характеристик антенных систем с использованием сетчатых материалов.

Основная задача – анализ трёх типов плетения с целью определения лучшего по такому критерию, как коэффициент отражения.

Для достижения поставленной цели нужно выполнить ряд частных задач:

- 1.Проработка литературы по тематике исследования.
- 2.Расчет параметров четырёх волноводных тройников в заданном диапазоне частот.
- 3.Компьютерное моделирование устройства оценки параметров сетеполотна.
- 4.Проведение анализа полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.
2. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка электромагнитной совместимости радиотехнического оборудования перспективных беспилотных летательных аппаратов на этапах разработки. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. №5 (24). С. 57-64.
3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.
4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.
5. Веденькин, Д.А. Оценка параметров материалов резонансным методом // Д.А.Веденькин, Насыбуллин А.Р., Хабибуллин Р.Р.//Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы - 2016. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016. № 2 (30). С. 149-151.

ANALYSIS OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NET MATERIALS. PART 3. MATHEMATICAL MODEL

**Marshova A.M., Kachushkin M.N., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.**

*(Kazan National Research Technical University
n.a. A.N. Tupolev – KAI)*

In this part of the paper the statement of the research problem is described. Stages of the work are given.

УДК 621.396.1

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 4. МОДЕЛИ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ

**Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.**

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

Моделью системы является волноводный Е – тройник верхний порт которого накрывается измеряемым материалом, а внутри волновода находится вакуум. Данная конструкция используется во многих антенных системах [1 - 4]. Для расчёта коэффициента отражения в диапазоне от 2,5 до 10 ГГц будут использоваться волноводы со следующими размерами:

- 1) 90 мм × 45 мм для диапазона от 2,5 до 3,3 ГГц.
- 2) 58 мм × 25 мм для диапазона от 3,4 до 4,9 ГГц.
- 3) 40 мм × 20 мм для диапазона от 5 до 7 ГГц.
- 4) 28,5 мм × 12,6 мм для диапазона от 7,1 до 10 ГГц.

Таблица 1. Результаты вычислений

Параметры	Волноводы			
Частота (ГГц)	2,5 - 3,3	3,4 - 4,9	5 – 7	7,1 – 10
Размеры волновода (мм)	90 × 45	58 × 25	40 × 20	28,5 × 12,6
f_0 (ГГц)	2,9	4,1	6	9
λ (мм)	100	70	48,3	32
$\lambda_{кр}$ (мм)	180	116	80	57
λ_E (мм)	120,26	89,23	60,66	39
$6\lambda_E$ (мм)	721,6	535,4	364	234
$\frac{\lambda_E}{4}$ (мм)	30,065	22,307	15,165	9,8

Компьютерное моделирование планируется проводить в программе CST STUDIO SUITE® Student edition.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.

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

3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.

ANALYSIS OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NET MATERIALS. PART 4. MODELS OF WAVEGUIDE TRACTS

***Marshova A.M., Kachushkin M.N., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.***

*(Kazan National Research Technical University
n.a. A.N. Tupolev – KAI)*

In this part of the work, the models used for experiment are described.

УДК 621.396.1

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 5. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

***Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

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

В результате выполненных исследований можно сделать следующий вывод о том, что для каждого интервала частоты и для каждого диаметра кольца, либо расстояния между проволоками показатели S_{11} и S_{21} отличаются (хоть и не кардинально, но ощутимо).

В диапазоне частот от 2,5 до 5 ГГц лучшим вариантом оказалось плетение: «ромб с одной диагональю». Так же на частоте от 3,4 до 4,9 ГГц хорошо показала себя сетка с прямоугольным плетением (её результаты были практически идентичны с плетением «ромб с одной диагональю»). В диапазоне от 5 ГГц до 10 ГГц лучшие показатели были у кольчужной сетки. Так же в диапазоне от 5 до 7 ГГц показатели наравне с кольчужной сеткой были у прямоугольной сетки.

Таким образом, задачи решены в полном объеме, основная задача - анализ трёх типов плетения с целью определения лучшего по такому критерию, как коэффициент отражения – исполнена.

Поставленная цель работы – улучшение эксплуатационных характеристик антенных систем[1-6] с использованием сетчатых материалов – достигнута.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.

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

3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.

5. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов. Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.

6. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

ANALYSIS OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NET MATERIALS. PART 5. ESTIMATION OF THE RESULTS OF MODELING

***Marshova A.M., Kachushkin M.N., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.***

*(Kazan National Research Technical University
n.a. A.N. Tupolev – KAI)*

Abstract: In this part of the paper the results are given. Showed conclusions from the simulation.

УДК 537.87(075.3)

**ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛНОВОДНОГО СВЧ ТРОЙНИКА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ**

***Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н.,
Седельников Ю.Е.***

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

В данной работе рассматривается применение волноводного тройника, предназначенного для проведения измерений по оценке параметров материалов различных структур [1-6].

Резонансный метод оценки параметров основан на четвертьволновом короткозамкнутом волноводном шлейфе – Е-тройник, который накрывается сверху измеряемым материалом.

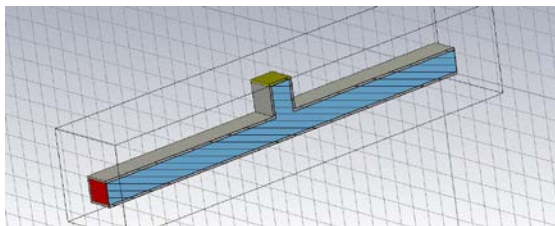


Рис. 1 – Волноводный Е – тройник с материалом (в разрезе)

В волноводной линии длина ответвителя тройника выбирается равным $\lambda_v/4$, для того что бы волна прошла путь равный двум $\lambda_v/4$ и вернувшись в основной волновод, после отражения от измеряемого материала, сложилась с основной волной в противофазе, вследствие чего на выходе волновода наблюдается отсутствие сигнала или его значительное ослабление на резонансной частоте в идеальном случае и при внешнем воздействии соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.
2. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка электромагнитной совместимости радиотехнического оборудования перспективных беспилотных летательных аппаратов на этапах разработки. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. №5 (24). С. 57-64.
3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.
4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.

5. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов. Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.

6. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

USING WAVEGUIDE MICROWAVE TEE FOR ESTIMATING THE PARAMETERS OF MATERIALS

***Khabibullin R.R., Marshova, Kachushkin M.N.,
Sedelnikov Y.E.***

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

In this paper, we consider of a waveguide tee using designed to perform measurements on the evaluation of the parameters of materials of various structures.

УДК 537.87(075.3)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

***Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н.,
Седельников Ю.Е.***

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

Информация о параметрах материала может быть критической при проектировании во многих приложениях радиотехники. Для определения характеристик материалов был использован резонансный метод. Моделью системы является волноводный Е – тройник верхний порт которого накрывается измеряемым материалом, а внутри волновода находится вакуум [1-5].

По результатам проведения компьютерного моделирования были построены графики зависимости коэффициентов передачи металлов от их удельной проводимости и толщины k , на частоте $F_{рез}=10ГГц$ (рис. 1) По результатам измерений видно, что при уменьшении удельной проводимости металлов коэффициент

передачи увеличивается. Также увеличение коэффициента передачи происходит при увеличении толщины измеряемого материала.

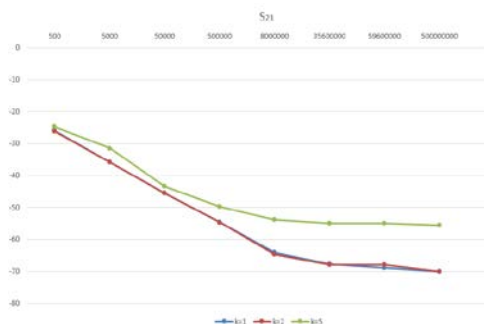


Рис. 1 – График зависимости S_{21}

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016 №1 (29). С. 18-31.

2. Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р., Седельников Ю.Е. Случайные разряженные когерентные антенные решетки, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016 №4 (32). С. 22-29.

3. 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. 221-226

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Потапова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики. Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 64- 68.

5. Веденькин Д.А. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. №5. С. 36.

**USING RESONANCE METHOD FOR ANALYSIS OF
CHARACTERISTICS OF MATERIALS**

***Khabibullin R.R., Marshova, Kachushkin M.N.,
Sedelnikov Y.E.***

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

Information about the material parameters can be critical when designing in many radio technics applications. To determine the characteristics of materials, a resonance method was used.

УДК 537.87(075.3)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО ТРОЙНИКА
ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ**

***Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н.,
Седельников Ю.Е.***

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

Для измерения характеристик материалов на более низких частотах можно использовать тот же резонансный метод, применимо к такой волнонесущей структуре как коаксиальная линия. Коаксиальный тройник (рис. 1) работает по тем же принципам, что и волноводный тройник [1] и так же позволяет проводить измерения параметров материалов различных структур [2-6].

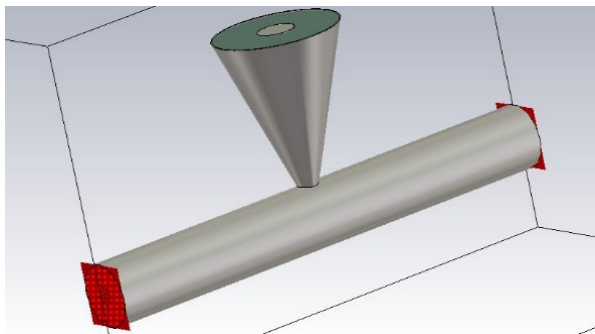


Рис. 1. Коаксиальный тройник

Конусообразность коаксиального шлейфа обусловлена размерами коаксиального тройника, т.к. для более плотного

прилегания измеряемого материала необходима площадь большая, чем у среза основного коаксиального тракта.

В докладе рассматривается возможность использования коаксиальных тройников в диапазоне частот от 100МГц до 300МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Хабибуллин Р.Р., Васильев Е.В. Анализ характеристик материалов в диапазоне метровых резонансным методом. // Инженерный вестник Дона – 2017. №3, ISSN 2073-8633

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

3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.

5. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов. Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.

6. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

USING COAXIAL TEE FOR ESTIMATING THE PARAMETERS OF MATERIALS

***Khabibullin R.R., Marshova, Kachushkin M.N.,
Sedelnikov Y.E.***

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

Method for measuring the characteristics of materials using a coaxial tee in this paper was consider. A coaxial tee computer model was simulated.

УДК 537.87(075.3)

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ В ДИАПАЗОНЕ МЕТРОВЫХ ВОЛН РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

**Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н.,
Седельников Ю.Е.**

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

Для определения характеристик материалов был использован резонансный метод. Моделью системы является коаксиальный тройник верхний порт которого накрывается измеряемым материалом [1-5].

По результатам проведения компьютерного моделирования был построен график зависимости коэффициентов передачи металлов от их удельной проводимости, при толщине материала $k=1\text{мм}$ и на частоте $F_{рез}=200\text{МГц}$ (рис. 1) По результатам измерений видно, что при уменьшении удельной проводимости металлов коэффициент передачи увеличивается.

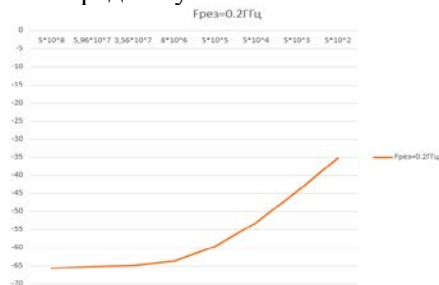


Рис. 1. График зависимости коэффициента S_{21} от удельной проводимости материалов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Хабибуллин Р.Р., Васильев Е.В. Анализ характеристик материалов в диапазоне метровых резонансным методом. // Инженерный вестник Дона – 2017. №3, ISSN 2073-8633
2. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка электромагнитной совместимости радиотехнического оборудования перспективных беспилотных летательных аппаратов на этапах разработки. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. №5 (24). С. 57-64.

3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.

5. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов. Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.

6. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

**USING RESONANCE METHOD FOR ANALYSIS OF
CHARACTERISTICS OF MATERIALS IN THE RANGE OF METER
WAVES**

***Khabibullin R.R., Marshova, Kachushkin M.N.,
Sedelnikov Y.E.***

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

The system model is a coaxial tee. Method for measuring the characteristics of materials using a coaxial tee in this paper was analyzed.

УДК 537.87(075.3)

**ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ШЛЕЙФА КОАКСИАЛЬНОГО
ТРОЙНИКА НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ
ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ**

***Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н.,
Седельников Ю.Е.***

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

Определение параметров материалов различных структур в метровом диапазоне волн можно проводить резонансным методом с использованием коаксиального тройника [1-6] Шлейф

коаксиального тройника имеет конусообразную форму для более точного определения искоемых характеристик.

По результатам моделирования, с различными диаметрами верхнего конца коаксиального шлейфа, построены графики зависимости коэффициента S_{21} от удельной проводимости материалов (рис. 1), по которым можно судить о влиянии размера шлейфа на точность полученных результатов.

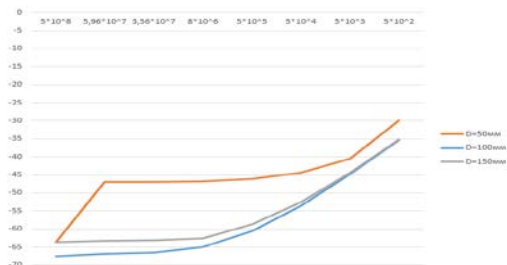


Рис. 1. Графики зависимости коэффициента S_{21} от удельной проводимости материалов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Хабибуллин Р.Р., Васильев Е.В. Анализ характеристик материалов в диапазоне метровых резонансным методом. // Инженерный вестник Дона – 2017. №3, ISSN 2073-8633
2. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка электромагнитной совместимости радиотехнического оборудования перспективных беспилотных летательных аппаратов на этапах разработки. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. №5 (24). С. 57-64.
3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.
4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.
5. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов. Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.

6. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

INFLUENCE OF COAXIAL TEE SIZE ON THE ACCURACY OF MEASUREMENT PARAMETERS OF MATERIALS

***Khabibullin R.R., Marshova, Kachushkin M.N.,
Sedelnikov Y.E.***

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

Method for measuring the characteristics of materials using a coaxial tee in this paper was considered. A train of a coaxial tee is cone-shaped for a more accurate determination of the required characteristics.

УДК 621.396

**ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ
КОАКСИАЛЬНЫХ РАЗЪЕМОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО
ДИАПАЗОНА**

***Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

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

Для повышения предельной частоты соединителей необходимо уменьшить их размеры, что влечет за собой переход с линии, заполненной твердым диэлектриком, на воздушную линию.

Все усилия в данный момент направлены на создание более совершенной диэлектрической опорной шайбы и более прочных внутренних проводников.

Таблица 1. Параметры воздушных коаксиальных линий

Соединители	Размеры проводников линии, мм		Волновое сопротивление, Ом	Предельная частота, ГГц
	наружного	внутреннего		
3,5-мм	$3,5 \pm 0,005$	$1,52 \pm 0,01$	$50 \pm 0,5$	34
2,9-мм	$2,92 \pm 0,05$	$1,27 \pm 0,007$	$50 \pm 0,6$	40
2,4-мм	$2,4 \pm 0,01$	$1,04 \pm 0,01$	$50 \pm 0,95$	50
1,85-мм	$1,85 \pm 0,007$	$0,8 \pm 0,007$	50 ± 1	65
1-мм	$1 \pm 0,007$	$0,434 \pm 0,005$	$50 \pm 1,15$	110

На практике, данные коаксиальные разъемы можно использовать при создании КВП в сверхвысоких диапазонах частот, которые могут быть использованы при проектировании перспективных беспилотных летательных аппаратов, рассматриваемых в литературе [1-4].

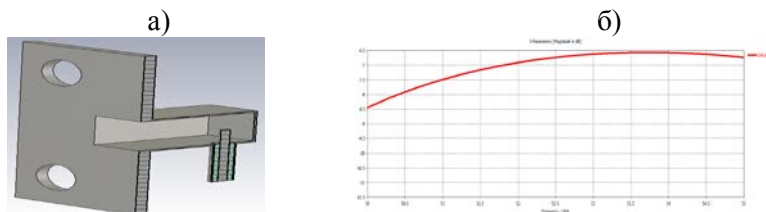


Рис. 1. а) Модель КВП с использованием 1-мм коаксиальной линии; б) S-характеристика КВП

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.
2. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка электромагнитной совместимости радиотехнического оборудования перспективных беспилотных летательных аппаратов на этапах разработки. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2014. №5 (24). С. 57-64.
3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов. Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.
4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

CHARACTERISTICS AND USE OF COAXIAL CONNECTORS IN THE MILLIMETRE RANGE

**Kachushkin M. N., Marshova A. M., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.**

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

In this paper, various elements of microwave components are considered, such as: junctions, bends, twists and transitions between microwave transmission lines.

УДК 621.396

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ШТЫРЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОАКСИАЛЬНО- ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА

**Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.**

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева – КАИ, г. Казань)*

Форма штыря в КВП оказывает большое влияние на его характеристики. В данной работе рассмотрены различные вариации формы штыря: с подстройкой формы кабеля в виде усеченного конуса, с подстройкой формы кабеля в виде цилиндра.

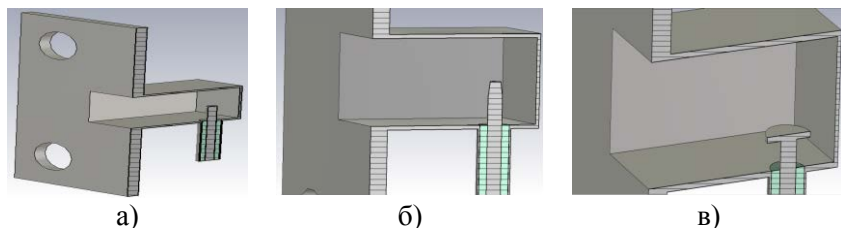


Рис. 1. Модели коаксиально-волноводного перехода: а)- обычный штырь; б)- усеченный конусовидный штырь; в)- цилиндрический штырь

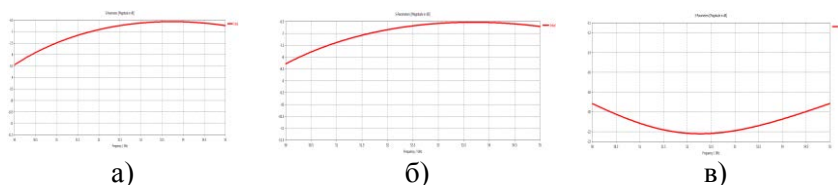


Рис. 2. Характеристики коаксиально волноводного перехода: а)- обычный штырь; б)- усеченный конусовидный штырь; в)- цилиндрический штырь

Из представленных моделей видно, что лучшей характеристикой обладает КВП с подстройкой штыря в виде цилиндра, и потери передаваемого сигнала составляют менее 1%.

Эти данные могут быть использованы при создании КВП для таких устройств как, перспективные БЛА со сфокусированными-антенными решётками [1-4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016 №1 (29). С. 18-31.
2. 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. 221-226
3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Потапова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики. Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 64- 68.
4. Веденькин Д.А. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. №5. С. 36.

A STUDY OF THE INFLUENCE OF PIN SHAPE ON THE CHARACTERISTICS OF THE COAXIAL-WAVEGUIDE TRANSITION

***Kachushkin M. N., Marshova A. M., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.***

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

Various types of coaxial-waveguide transitions are presented, as well as their main features. As a result, the model of realization of a coaxial-waveguide transition is presented on the basis of the elements considered.

УДК 621.396

РАЗРАБОТКА КООКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СОЧЛЕНЕНИЯ: ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

***Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

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

В наш дни коаксиальные разъемы V- диапазона широко распространены, они нашли свое применение в устройствах, работающих в частотах 50-70 ГГц, в том числе и в создании коаксиально-волноводных переходов, которые в свою очередь могут быть использованы при создании таких устройств как, беспилотные комплексы и аппараты [1-2] и сфокусированных антенн [3-4].

Целью данной работы, является выбор коаксиального кабеля и волновода, для создания коаксиально-волноводного перехода, удовлетворяющего требованиям исследований.

Для решения основной задачи необходимо решить ряд частных подзадач:

- анализ литературы на такие темы, как: виды коаксиально-волноводных переходов, виды соединений линий передач, требования к линиям передач, общая теория о волноводах и коаксиальных кабелях, типы коаксиальных кабелей и т.д.;

- моделирование 2х видов коаксиально-волноводных переходов (с подстроечным элементом на широкой стенке и подстройкой кабеля);

- сравнительный анализ характеристик, полученных в результате моделирования КВП;

- выбор лучшего КВП по полученным данным;

- создание модели четырехполосника, как элемента вращающегося сочленения в требуемых диапазонах частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.

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

3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Особенности построения решеток излучателей для задач акустического неразрушающего контроля. Перспективы науки. 2013. №10 (49). С. 152-154.

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разряженных сфокусированных антенных решеток. Наука и бизнес: пути развития. 2013. №10 (28). С.56-59.

DEVELOPMENT OF A COAXIAL-WAVEGUIDE TRANSITION AS AN ELEMENT OF A ROTATING JOINT: PART 1. STATEMENT OF THE PROBLEM

***Kachushkin M. N., Marshova A. M., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.***

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

In this paper, various elements of microwave components are considered, such as: junctions, bends, twists and transitions between microwave transmission lines.

УДК 621.396

**РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО
ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ
СОЧЛЕНЕНИЯ: ЧАСТЬ 2. НАСТРОЙКА МОДЕЛИ И
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

***Качушкин М.Н., Маршова А.М. Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева – КАИ, г. Казань)*

Смещая зонд относительно оси системы, можно получить любое активное сопротивление, меньшее, чем волновое сопротивление волновода. Так же существует оптимальное положение штыря и окончательное согласование достигается

посредством изменения длины зонда и его расположением в волноводе. При тщательном выполнении зондовый переход обеспечивает полосу частот согласования 15-20% относительно расчетной частоты при КБВ не менее 0,95. Недостатком данного перехода является, снижение прочности так как на конце зонда, концентрируются линии электрического поля.

Таким образом, можно заметить, что при изменении формы штыря в самом волноводе, можно улучшить его S- параметры, а подстройка с помощью элемента с разной диэлектрической проницаемостью на верхней стенке волновода только ухудшила эти показатели. Такие же проблемы настройки КВП и его характеристики рассматриваются и при создании сфокусированных антенн [1-5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Свойства сфокусированных волновых полей в промежуточной зоне излучения. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016 №1 (29). С. 18-31.
2. Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р., Седельников Ю.Е. Случайные разряженные когерентные антенные решетки, сфокусированные в зоне ближнего излученного поля. Вестник поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2016 №4 (32). С. 22-29.
3. 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. 221-226
4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Потапова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики. Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 64- 68.
5. Веденькин Д.А. Сфокусированные антенны для систем радиосвязи с группой малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. №5. С. 36.

**DEVELOPMENT OF A COAXIAL-WAVEGUIDE TRANSITION AS
AN ELEMENT OF A ROTATING JOINT: PART 2. MODEL
ADJUSTMENT AND SIMULATION RESULTS**

***Kachushkin M. N., Marshova A. M., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.***

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

Various types of coaxial-waveguide transitions are presented, as well as their main features. As a result, the model of realization of a coaxial-waveguide transition is presented on the basis of the elements considered.

УДК 621.396

**РАЗРАБОТА КООКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО
ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА ВРАЩАЮЩЕГОСЯ
СОЧЛЕНЕНИЯ: ЧАСТЬ 3. ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА
ПЕРЕДАЧИ**

***Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р.,
Седельников Ю.Е.***

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева – КАИ, г. Казань)*

Для создания модели двухсекционного четырехполюсника использовались коаксиально-волноводные переходы с подстройкой формы кабеля в виде цилиндра.

В результате мы имеем характеристику для диапазона 50-60 ГГц (Рис. 2 а) и для 60-70 ГГц (Рис. 2 б), где потери передачи составляют около 9%.

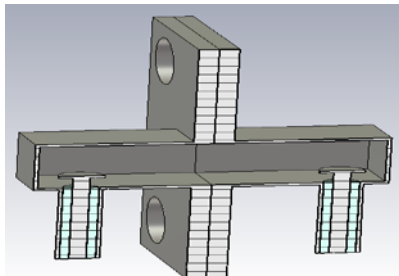


Рис. 1 Модель двухсекционного четырехполюсника



Рис.2 Передаточная характеристика двухсекционного четырехполюсника: а) для диапазона 50-60 ГГц; б) для диапазона 60-70 ГГц

Исходя из этого, можно сказать, что характеристика достаточно хороша и удовлетворяет требованиям ГОСТ. Позже можно использовать этот четырехполюсник, при конструировании беспилотных авиационных комплексов [1-4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седельников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12. С. 14.

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

3. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Сфокусированные антенные решетки на базе беспилотных летательных аппаратов. Глобальный научный потенциал. 2013. № 10 (31). С. 86-88.

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Активные сфокусированные антенные решетки для радиотехнических средств малоразмерных летательных аппаратов. Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2008. Т. 11. №4. С. 40-46.

DEVELOPMENT OF A COAXIAL-WAVEGUIDE TRANSITION AS AN ELEMENT OF A ROTATING JOINT: PART 3. ESTIMATION OF THE TRANSMISSION COEFFICIENT

**Kachushkin M. N., Marshova A. M., Khabibullin R.R.,
Sedelnikov Y.E.**

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

In this paper, various elements of microwave components are considered, such as: junctions, bends, twists and transitions between microwave transmission lines.

УДК 621.396

АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ ММВ НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ИДЕНТИЧНЫМИ НЕРЕГУЛЯРНОСТЯМИ

Седельников Ю.Е., Шабан М.

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

При реализации антенн миллиметрового диапазона волн альтернативой классическим вариантам могут стать системы в виде АР из нерезонансных излучателей возбуждаемых диэлектрическими волноводами [1-2]. Классическая антенна типа вытекающей волны представляет собой диэлектрическую волноводящую структуру, нагруженную периодической системой нерегулярностей. Строгий электродинамический анализ излучения такой антенна достаточно сложен [3], и разными авторами предложены те или иные варианты приближенного анализа. При проектировании подобных антенн достаточно просто основываться на представлении антенн на ДВ в виде антенной решетки с последовательным возбуждением и использовать при анализе энергетический подход [3].

В простейшем случае антенна состоит из диэлектрического волновода того или иного типа, нагруженного периодической системой идентичных нерегулярностей. Возможно выполнение антенны в различных вариантах.

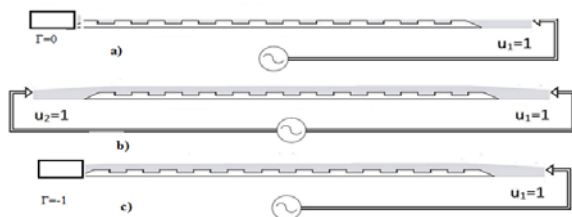


Рис. 1 Варианты антенны а)- согласованной концевой нагрузкой, б)- с двухсторонним возбуждением, в)- с короткозамыкателем.

Согласно энергетическому подходу апертурное распределения в поперечно-излучающей антенне имеет вид для вариантов антенны а)-в)

$$I_n = \sqrt{x(1-x)^{n-1}}$$
$$I_n = \sqrt{x(1-x)^{n-1}} + \sqrt{x(1-x)^{N-n-1}}$$
$$I_n = \sqrt{x(1-x)^{n-1}} + \sqrt{x(1-x)^{2N-n-1}}$$

Расчеты согласно (1)-(5) показывают, что вариант выполнения антенны с концевой короткозамкнутой нагрузкой обеспечивает увеличение коэффициента усиления не менее 20% не требуя усложнения конструкции антенны. Наибольший эффект достигается при оптимальном выборе значения коэффициента связи элемента решетки в зависимости от числа ее элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klassen V.I., Oleinik E.Ju., Sedelnukov Yu., E. Shaaban M, Ploskie Antenni dlja perspektivnyh sredstv telekommunikatsij. Elektrosvjaz №4 2017, p 59-63 (in Russian)

2 Bacarelli, P. 1-D Periodic Leaky-Wave Antennas: Radiation Properties and Design Aspects. ESoA Course on Leaky Waves and Periodic Structures for Antenna Applications, 26-29 Apr. 2011, Italy. 'La Sapienza' University of Rome, 2011, p.324-329

3. Шестопалов В.П. Физические основы миллиметровой и субмиллиметровой техники. Том 1. Открытые структуры Киев, Наукова думка, 1985. – 216 с.

ANTENNA LATTICE MMB ON THE BASIS OF A DIELECTRIC WAVEGUIDE WITH IDENTICAL NON-REGULARITY

Sedelnikov Y.E., Shaban M.

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

УДК 621.396

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДИАПАЗОНОВ

Данилов И.Ю., Романов Ю.Е., Седельников Ю.Е.

*(ОАО «Институт связных систем им. М.Ф. Решетнева,
Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева-КАИ)*

Космическая связь представляют собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений в области массовых телекоммуникаций и специальной радиосвязи. Характерная тенденция ее развития состоит в необходимости практического освоения все более высокочастотных диапазонов. Основным типом направленных антенн космической аппаратуры являются зеркальные. Облучающие системы их, представляют собой о сложные многодиапазонные функциональные узлы, выполняющие помимо функций облучения функции частотной и поляризационной селекции. Создание их для антенн аппаратуры миллиметрового диапазона требует решения ряда задач:

- схемотехнические решения, обеспечивающие достижение требуемых радиотехнических характеристик в части функциональных показателей;

- конструкторские решения, обеспечивающие достижение требуемых функциональных показателей, задаваемых технико-тактическими требованиями к аппаратуре в условиях применения;

- технологические решения, обеспечивающие приемлемую степень трудоемкости;

Разработанная процедура основана на следующих шагах:

1. Выбор общей схемы построения облучающей системы с учетом технологических возможностей ее реализации. Выбор не алгоритмизируется. Основой является метод экспертных оценок. Одним из основных критериев является оценка реализуемости существующими технологиями. Результат: -определение номенклатуры и требований к электрическим характеристикам составляющих элементов.

2. Схемотехническое проектирование с учетом возможности реализации элементов. Основным инструментом являются эффективные программные комплексы электродинамического проектирования (CST Microwave Studio, HFSS). Результат: -

определение параметров конструкции проектируемого элемента и оценки требований к точности их реализации. В результате анализа нескольких альтернативных вариантов выполнения элемента определяется наиболее приемлемый из них, устанавливаются необходимые его размеры и параметры материалов, а также оцениваются значения допустимых отклонений (Δx).

3. Осуществляется полное электродинамическое моделирование устройства в целом, либо сборок, состоящих из нескольких элементов. Основная цель – оценка достигаемых электрических параметров. На этом же этапе при необходимости в моделируемой устройстве вводятся дополнительные настроечные элементы и осуществляется проверка их эффективности при компенсации влияния производственных погрешностей

4. Осуществляется разработка конструкции с учетом существующих технологических возможностей конструкторской и технологической документации и практическая реализация.

FEATURES OF DEVELOPMENT OF ANTENNA SYSTEMS OF COSMIC COMMUNICATION IN PERSPECTIVE RANGES

Danilov I.Y., Romanov Y.E., Sedelnikov Y.E.

*(OJSC "Institute of connected systems n.a. M.F. Reshetnev,
Kazan National Research Technical University
named after A.N. Tupolev-KAI)*

УДК 681.5.08

КОАКСИАЛЬНЫЙ ВОЛНОВОД С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ КАК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОНТРОЛЯ

Насыбуллин А.Р., Юсупов Т.И., Зайцев А.Д.

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

В докладе представлены методы создания СВЧ- структур брегговского типа, реализованных в коаксиальном волноводе, для измерения электро-физических параметров неоднородных сред и

позволяющих проводить измерение как дискретном, так непрерывном виде.

В радиочастотной области аналогом волоконной решетки Брэгга можно считать структуру, представляющую собой расположенные в направляющем волноводе периодические неоднородности. Если в качестве направляющей системы использован коаксиальный волновод, то неоднородностями могут выступать цилиндрические ячейки в внутреннем диэлектрике. Измерение диэлектрических характеристик сред возможно при внесении исследуемого вещества в неоднородности брэгговской структуры. В результате преобразования комплексной проводимости неоднородностей изменяется форма частотной характеристики коэффициента отражения и передачи всей структуры, характер этих изменений будет указывать на значения диэлектрических параметров среды. При изменении диэлектрической проницаемости среды происходит сдвиг резонансной частоты, увеличение амплитуды резонанса и расширение полосы контура. В работе рассматривается помимо «обычного» коаксиального волновода с брэгговской структурой - эксцентричная коаксиальная линия и коаксиальный волновод с утолщениями центрального проводника между отверстиями брэгговской структуры, для улучшения определения электрофизических параметров жидких продуктов.

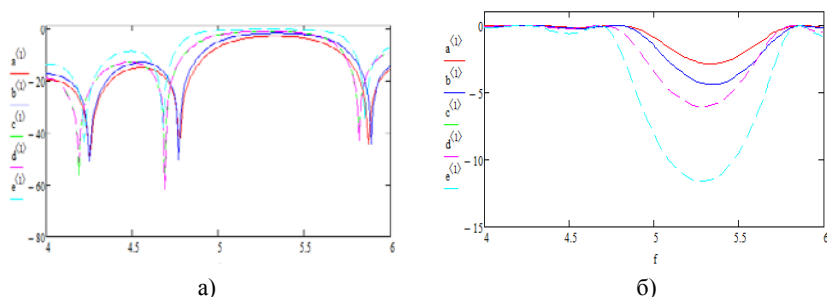


Рис. 1. Частотная зависимость коэффициента отражения (а) и коэффициента передачи (б) для различных конфигураций волновода;

Как видно из рис. 1, эксцентричная линия и утолщения на центральном проводнике увеличивают коэффициент прямоугольности и так же увеличивают полосу частот резонанса коэффициента отражения. Так же увеличивается полоса частот резонанса и сам коэффициент отражения, что увеличит точность

измерений. На рисунке 1 б) видно, что при изменении конфигурации волновода, увеличивается коэффициент передачи, а так же увеличивается полоса частот резонанса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гроднев И. И., Фролов П. А. Коаксиальные кабели связи. – 2-е изд., перераб. доп. – М.: Радио и связь, 1983. – 208 с.
2. Насыбуллин, А.Р. Брэгговские сенсорные СВЧ-структуры на коаксиальном кабеле / А.Р. Насыбуллин, О.Г. Морозов, А.А. Севастьянов // Журнал радиоэлектроники (электронный журнал). – 2014. - №3. – С.1-17.
3. Насыбуллин А.Р. , Преобразовательный элемент измерителя уровня жидких продуктов на основе брэгговской СВЧ-структуры в коаксиальном кабеле / Насыбуллин А.Р. , Морозов О.Г. , Севастьянов А.А. , Фархутдинов Р.В. , Самигуллин Р.Р.// Издательский Дом «Академия Естествознаний», 2014, №6.

COAXIAL WAVEGUIDE WITH PERIODIC INHOMOGENEITIES AS A CONVERSION ELEMENT FOR DISTRIBUTED CONTROL

Nasybullin A.R., Yusupov T.I., Zaytsev A.D.
(«Kazan National Research Technical University
named after A.N.Tupolev – KAI»)

The report presents methods for creating Bragg-type microwave structures implemented in a coaxial cable for measuring the electro-physical parameters of inhomogeneous liquids that allow measurement in a discrete and continuous form.

УДК 621.372.85

**ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЯ НА
ХАРАКТЕРИСТИКУ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С
ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ**

Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.

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

Диэлектрические волноводы находят в последние годы все более широкое применение, уже не ограничивающееся областью диэлектрических антенн и направляющих систем [1]. Одним из таких направлений является измерительная техника. В диапазоне СВЧ и КВЧ такие вопросы на данный момент мало изучены.

Круглый диэлектрический волновод с внесенной в него периодической структурой с условием Брэгга, заключающееся в равенстве периода следования неоднородностей $\Lambda = \frac{\lambda_p}{2}$, то в характеристике отражения и передачи появляется резонанс [2]. В цилиндрический диэлектрический СВЧ волновод с внесенной периодической брэгговской структурой. Ячейками периодической структуры выступают цилиндрические отверстия, расположенные перпендикулярно относительно горизонтальной оси диэлектрического волновода. Для улучшения добротности резонанса, возможно введение фазового сдвига в центре такой структуры. Фазовым сдвигом для данной модели стал выступать участок в волноводе, где период уменьшается вдвое относительно остальных участков, где период удовлетворяет условию Брэгга.

В ходе моделирования было выявлено влияние на характеристику диэлектрического волновода взаимного расположения ячеек периодической структуры и направления поляризации поля. При расположении неоднородностей перпендикулярно направлению поляризации поля, резонанс на характеристике просматривался наиболее ярко.

На рисунке 1 показано распределение поля в ячейке периодической брэгговской структуры в зависимости от положения ячейки относительно направления поляризации поля, коэффициент отражения для данных вариантов представлен на рисунке 2.

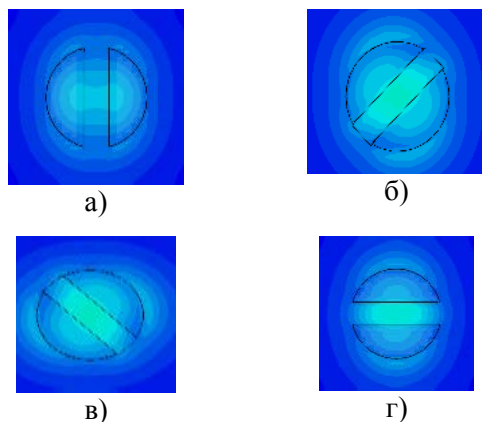


Рис. 1 – Распределение полей: а) начальное положение, б) поворот на $+45^\circ$, в) поворот на -45° , г) поворот на 90°

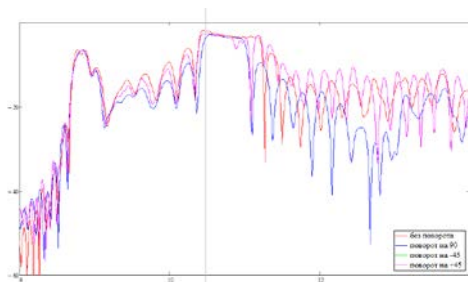


Рис. 2.45 - Графики зависимости коэффициента отражения от положения неоднородностей

Из рисунка видно, что при перпендикулярном расположении ячейки, поле сконцентрировано в центре диэлектрического волновода, а характеристика имеет наилучший коэффициент прямоугольности. Именно этим характеризуется проявление более четкого резонанса на характеристике диэлектрического волновода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Насыбуллин А.Р. Активные оптические и СВЧ-элементы с периодическими структурами, расположенными в ближней зоне излучения: трансфер сенсорных технологий // Инженерный вестник Дона. 2016. №3 ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3751
2. Насыбуллин А.Р. Пассивные оптические и коаксиальные СВЧ-структуры с периодическими неоднородностями: трансфер

сенсорных технологий // Инженерный вестник Дона. 2016. №3
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3761

**INFLUENCE OF THE POLARIZATION OF THE RADIATION PORT
ON THE CHARACTERISTIC OF A DIELECTRIC CYLINDRICAL
WAVEGUIDE WITH PERIODIC INHOMOGENEITY**

Nasybullin AR, Ishkayev TM

(Kazan National Research Technical

University named after A.N. Tupolev)

Abstract: In article the question of dependence of change of characteristics on the provision of polarization of the field is brought up.

УДК 621.372.85

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ВОЛНОВОДА С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ
НЕОДНОРОДНОСТЯМИ**

Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.

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

Техника для измерения диэлектрических характеристик веществ в последние годы приобретает более широкий интерес в сфере сенсорики. Для развития данного направления необходимы чувствительные элементы, выполненные из диэлектрических материалов [1].

Эбонит – диэлектрический материал с низкими потерями в СВЧ диапазоне частот, со способностью к хорошей обработке и полировке. Исходя из этих характеристик, этот материал был выбран для реализации цилиндрического диэлектрического волновода СВЧ диапазона.

Методика измерения коэффициента отражения диэлектрического цилиндрического волновода, состоит из следующих операций: проведение однопортовой калибровки векторного анализатора цепей, при которой в качестве операции согласования порта подключается через соединительный кабель к волноводному переходу, который возбуждает диэлектрический

цилиндрический волновод длиной $l=300$ мм и диаметром $D=20$ мм, на свободном конце которого подключена находится согласованная нагрузка. Согласованной нагрузкой выступает короткозамкнутый цилиндрический металлический волновод, заполненный радиопоглощающим материалом (Рис.1). Для согласования диэлектрического волновода использовались конусные переходы длиной $l_n=50$ мм. Материалом для реализации такой структуры послужил эбонит с $\epsilon=2.4$, $\text{tg}\delta=0,00051$.

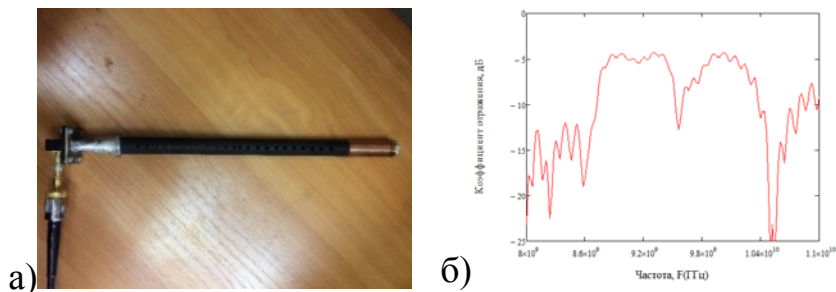


Рис.1 – а)- Экспериментальная модель диэлектрического волновода со согласованной нагрузкой и внесенной периодической брэгговской структурой.

б)-Коэффициент отражения экспериментальной модели

Внесенная периодическая структура представлена сквозными цилиндрическими отверстиями в количестве 22 штуки с $D_n=5$ мм, период следования которых $\Lambda=11$ мм. В середину периодической структуры внесен фазовый сдвиг.

Эбонит, выступавший материалом из которого был выполнен диэлектрический волновод, показал следующие результаты: коэффициент отражения $S_{11} = -15$ дБ в диапазоне частот 8-15 ГГц, Коэффициент стоячей волны (КСВН) составил 1.3 в той же полосе частот. При внесении периодической брэгговской структуры в данный волновод резонанс находился на частоте 9.6 ГГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ишкаев Т.М. Периодические брэгговские структуры в цилиндрическом волноводе СВЧ диапазона. Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Прикладная электродинамика, фотоника и живые системы-2017», Казань, с.34-39.

**EXPERIMENTAL REALIZATION
CYLINDRICAL DIELECTRIC WAVE GUIDE WITH PERIODIC
INHOMOGENEITY**

Nasybullin AR, Ishkayev TM
(Kazan National Research Technical
University named after A.N. Tupolev)

This report describes the experimental creation of a dielectric waveguide with periodic inhomogeneities and introduced phase shift

УДК 621.372.85

**МИКРОПОЛОСКОВЫЕ БРЭГГОВСКИЕ СВЧ
СТРУКТУРЫ С ДВОЙНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТЬЮ**

Насыбуллин А.Р., Фархутдинов Р.В., Вазиев Т.О.
(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н.Туполева-КАИ»)

Брэгговские СВЧ структуры нашли широкое применение в устройствах фильтрации радиосигналов и в качестве элементов устройств для определения электрофизических параметров материалов и веществ [1-2]. В докладе обсуждаются результаты исследования нового типа брэгговских структур, названных структурами с двойной периодичностью. Термин «двойная периодичность» вводится для микрополосковой структуры, характеризующейся наличием двух последовательностей периодических неоднородностей, расположенных в соответствии с условием Брэгга и различающихся конфигурацией и пространственным периодом. Использование двойной периодичности приводит к образованию узкого резонанса в частотной характеристике, что объясняется образованием участка перекрытия двух резонансных линий, с резонансной частотой, зависящей от разности пространственных периодов. В результате формируется узкое окно прозрачности в частотной характеристике коэффициента передачи СВЧ структуры.

В частности было рассмотрено одновременное введение в микрополосковую линию периодическое одноступенчатое изменение полоскового проводника и круглых апертур в экранном проводнике, расположенных вдоль продольной оси линии. Вид микрополосковой структуры с отображением взаимного

расположения двух типов неоднородностей с различным пространственным периодом изображен на рис. 1-а. Как можно наблюдать на рисунке рассматривается конфигурация с симметричным расположением периодических неоднородностей.

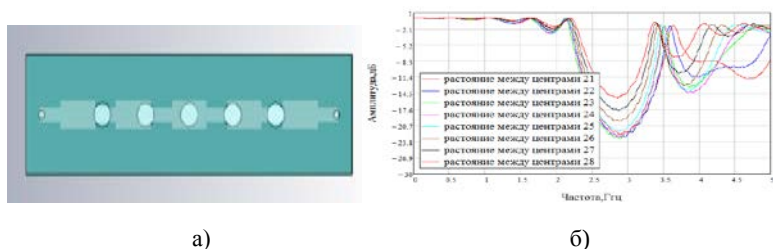


Рис. 1. Микрополосковая брэгговская структура с двойной периодичностью. а)- внешний вид, (б)- коэффициент передачи структуры при различных расстояниях относительно центров апертур

Основной целью анализа микрополосковой структуры с двойной периодичностью выступала оценка влияния значений пространственных периодов на резонансную частоту образующегося окна прозрачности в коэффициенте передачи. Характер этой зависимости поясняет рис. 1-б, где показаны семейства характеристик для различных значений периода расположения апертур в экранном проводнике, полученных в программе электродинамического моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Morozov O.G., Nasybullin A.R., Danilaev M.P., Farkhutdinov R.V. Sensor applications of Bragg microwave structures realized in coaxial waveguide / ICATT 2015 - Proceedings 10. 2015. С. 7136883.
2. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Мерданов М.К., Пономарев Д.В., Евтеев С.Г. СВЧ фотонные кристаллы - новый тип функциональных структур, применяемых в радиоэлектронике / Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2016. Т. 19. № 3. С. 17-24.

MICROSTRIP BRAGG MICROWAVE STRUCTURE WITH DOUBLE PERIODICITY

Nasybullin A.R., Farkhutdinov R.V., Vaziev T.O.

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

The report discusses the results of a study of a new type of Bragg structures, called double-period structures. The term "double periodicity" is introduced for a microstrip structure characterized by the presence of two sequences of periodic inhomogeneities arranged in accordance with the Bragg condition and differing in configuration and spatial period.

УДК 621.372.85

БРЭГГОВСКИЕ СВЧ СТРУКТУРЫ С ЧИРПИРОВАНИЕМ И АППОДИЗАЦИЕЙ

Насыбуллин А.Р., Фархутдинов Р.В., Вазиев Т.О.

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

В волоконной технике нашли широкое применение решетки Брэгга (ВБР), период которых заданным образом меняется вдоль их длины непрерывно или ступенчато. Такие чирпированные волоконные решетки имеют широкий спектр отражения или большую дисперсию. Исходя из существующей аналогии между процессами, происходящими в ВБР и брэгговских СВЧ структурах (БСВЧС), можно реализовать принцип чирпирования в радиочастотном диапазоне. Рассмотрены два варианта конфигурации брэгговских структур в коаксиальном волноводе: изменение периода вдоль длины волновода по линейному закону и по степенному закону. Оценка влияния параметров чирпированной структуры на форму коэффициента отражения БСВЧС для линейного закона заключалась в изменении угла наклона линейной функции, задающей период структуры по длине волновода. Рис. 1,а иллюстрирует коэффициент отражения для трех значений угла наклона линейной функции, где можно наблюдать, что увеличение скорости изменения периода вдоль длины кабеля приводит к расширению полосы контура и уменьшению амплитудного значения резонанса. Для степенной функции осуществлялась

вариация значения степени и анализировался вид преобразования частотной зависимости коэффициента отражения (рис. 1,б). Из рисунка видно, что увеличение степени n приводит к искажению одного из склонов трапецеидальной характеристики, приближая ее к треугольной. Для уменьшения влияния боковых побочных резонансов применяется известный в оптической технике метод аподизации, при котором применительно к коаксиальной структуре вводится плавное изменение глубины ячеек в начале и конце волновода.

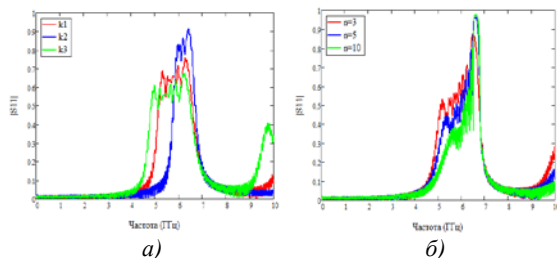


Рис. 1. Влияние параметров функции периода на форму частотной зависимости коэффициента отражения: изменения по линейному (а) и степенному (б) законам

На рис. 2 показан результат анализа различных форм аподизации, из которого видно, что наилучшее подавление боковых лепестков показывает аподизация контуром Гаусса, при этом наблюдается меньшее искажение формы основного резонанса при среднем подавлении уровня боковых лепестков.

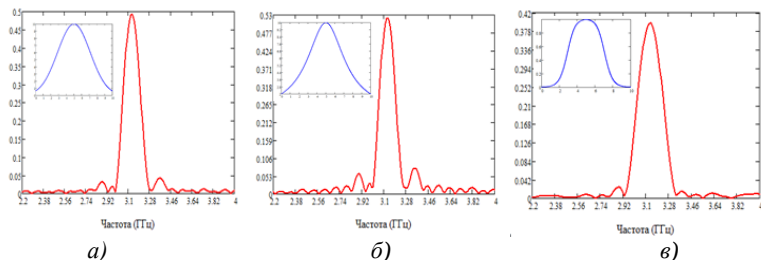


Рис. 2. Характеристики БСВЧС при аподизации Гауссовым контуром (а), Лоренцовским контуром (б), контуром в виде гиперболического тангенса (в)

Метод аподизации может быть применен в структурах БСКК с линейным и степенным профилем, позволяя устранить нестабильность их характеристик.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9

BRAGG MICROWAVE STRUCTURES WITH CHIPPING AND APODIZATION

Nasybullin A.R., Farkhutdinov R.V., Vaziev T.O.

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

In the fiber technique, a wide application of the Bragg grating has been widely used, the period of which varies in a given manner along their length continuously or stepwise. Based on the existing analogy between the processes occurring in the FBG and Bragg microwave structures, the principle of chirping in the radio frequency range can be realized.

УДК 621.372.852

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОАКСИАЛЬНОЙ БРЭГГОВСКОЙ СВЧ СТРУКТУРЫ

Насыбуллин А.Р., Фархутдинов Р.В.

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

Структуру коаксиальной брэгговской СВЧ структуры можно представить, как чередование участков однородного коаксиального волновода и участков с неоднородностью в виде цилиндрических ячеек во внешнем проводнике и диэлектрическом заполнении. В этом случае удобно использовать распространенный в теории цепей с распределенными параметрами метод декомпозиции на подсхемы с использованием матричного анализа. Значения элементов матрицы рассеяния для участка с неоднородностью можно оценить приближенно, используя понятие «эффективной» комплексной диэлектрической проницаемости в области неоднородности. Подход заключается в замене участка коаксиального волновода с цилиндрической ячейкой участком волновода с однородным диэлектриком, электрические параметры которого являются усредненными величинами и длиной отрезка, равной диаметру ячейки.

«Эффективное» значение относительной комплексной диэлектрической проницаемости неоднородности для варианта, соответствующего максимальной глубине ячейки, может быть определено из соотношения для параллельного соединения конденсаторов (рис. 1а) с различными диэлектриками:

$$\epsilon_{\text{эф}} = \frac{\rho}{2(R+r)} \epsilon_1 + \left(1 - \frac{\rho}{2(R+r)}\right) \epsilon_2$$

где ϵ_1 , ϵ_2 – относительные комплексные диэлектрические проницаемости заполнения ячейки и внутреннего диэлектрика коаксиального волновода, ρ – радиус ячейки, r – радиус внутреннего проводника, R – радиус внешнего проводника.

Для случая произвольной глубины ячейки необходимо прибегнуть к выражениям для последовательно-параллельного соединения емкостей (рис. 1.б):

$$\epsilon_{\text{эф}} = \left(1 - \frac{\rho}{2(R+r)}\right) \epsilon_2 + \frac{\rho \epsilon_1 \epsilon_2 (R-r)}{2(R+r)(\epsilon_1(R-r-l) + \epsilon_2 l)}$$

где l – глубина ячейки.

Для определения общей матрицы передачи БСВЧС в такой постановке необходимы четыре матрицы передачи: отрезка волновода, соответствующего участку с неоднородностью; отрезка волновода, соответствующего основной линии; перехода от основной линии к линии с неоднородностью; перехода от линии с неоднородностью на основную линию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9.

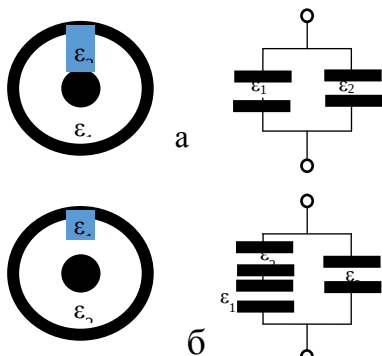


Рис. 1. К методу «эффективных» параметров неоднородности.

**APPROXIMATE METHOD OF CALCULATION OF COAGENOUS
BRAHGOVIC MICROWAVE STRUCTURE**

Nasybullin A.R., Farkhutdinov R.V.

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

In the report the proposed approach to the description of the characteristics of a periodic microwave structure in a coaxial waveguide using the apparatus of matrix analysis and method of description of discontinuities based on quasi-static approximation.

УДК 621.365.55

**РЕАЛИЗАЦИЯ КОНВЕЙЕРНОГО МЕТОДА
ПЕРЕРАБОТКИ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ШИРОКОПОЛОСНОЙ СФОКУСИРОВАННОЙ
АПЕРТУРЫ**

Халиков А.З., Зайцев А.Д., Седельников Ю.Е.

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

В данной работе был рассмотрен способ реализации конвейерного метода переработки веществ с использованием широкополосной сфокусированной апертуры

Реализация нового конвейерного метода позволит реализовать необходимые циклы прогрева, обеспечить управление температурой, автоматическое размещение перерабатываемых веществ в зону облучения антенны. Это позволит проводить новые эксперименты с получением продукта требуемого качества. Новый конвейерный метод позволит обеспечить технологические процессы переработки различных веществ, повысить адаптивные возможности и технические характеристики.

Для реализации данной установки была создана модель в программном пакете CST Studio Suite. В качестве излучателя был выбран прямоугольный волновод с размерами 45х90 мм со стенками толщиной 2 мм.

Одной из главных задач данной установки является обеспечение равномерного нагрева (фокусирование антенны) перерабатываемого вещества, поэтому были рассмотрены

распределения потока мощности по поверхности вещества при различных фазах.

В ходе моделирования увидели, что пятна нагрева перемещаются при изменении фазы антенн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е. Параметры разреженных сфокусированных антенных решеток, Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 10 (28). С. 56-59.

2. Vedenkin D.A., Potapova O.V., Sedelnikov Y.E. Antennas, focused in the near radiated field zone. Features and technical application, 2013 9th International Conference on Antenna Theory and Techniques, ICATT 2013 2013. pp. 560-565.

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

4. Веденькин Д.А., Седельников Ю.Е., Потапова О.В. Свойства сфокусированных антенн для задач акустической эхолокационной диагностики, Нелинейный мир. 2014. Т. 12. № 10. С. 64-68.

6. Д.А. Веденькин, И.И. Фаизов Исследование процессов переработки плотного битумизированного нефтешлама с использованием СВЧ-энергии // Инженерный вестник Дона. 2017. №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3636

7. Фуско В. СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990. - 288 с.

IMPLEMENTATION OF PIPELINED PROCESSING OF SUBSTANCES WITH

A BROADBAND FOCUSED APERTURE

Halikov A.Z., Zaycev A.D., Sedelnikov Y.E.

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

Way of implementing pipelined processing of substances using broadband focused aperture was considered in this work.

УДК 621.372.85

МИКРОПОЛОСКОВАЯ СВЧ СТРУКТУРА С РЕЗОНАНСОМ ФАНО

Насыбуллин А.Р., Вазиев Т.О., Фархутдинов Р.В.

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

В оптическом диапазоне проводились исследования по получению высокодобротной резонансной характеристики с применением кольцевого резонатора и волоконно-оптической решетки Брэгга (ВРБ) с фазовым π -сдвигом [1].

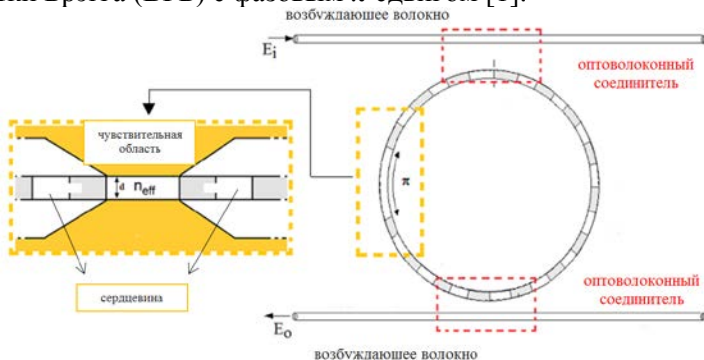


Рис. 1. Кольцевой ВРБ резонатор с фазовым π -сдвигом

Он физически состоит из одной брэгговской решетки замкнутой саму на себя через дополнительный виток оптического волокна, который вводит фазовую задержку для каждой встречной волны, генерируемой внутри кольцевой структуры. Получаемая высокодобротная резонансная характеристика получила название резонанс Фано.

Микрополосковая брэгговская структура обладает аналогичными свойствами как оптическая ВБР, с этой целью проведена попытка реализовать аналогичную схему в СВЧ диапазоне [2, 3]. Использовался микрополосковый кольцевой резонатор на несимметричной полосковой линии, в кольцевую линию которого были введены неоднородности в виде расширения ширины полоскового проводника, а затем фазовый сдвиг. В результате можно наблюдать возникновение ассиметричного фрезонанса Фано в центре полосы заграждения борэгговской структуры (рис. 2).

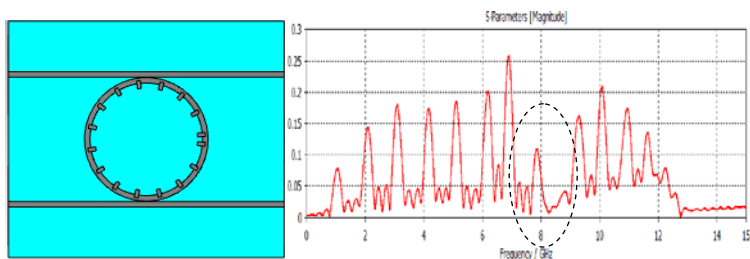


Рис. 2. Общий вид и характеристика микрополоскового кольцевого резонатора с брэгговской структурой с фазовым сдвигом

Низкий уровень резонанса Фано и небольшая добротность объясняется малыми значениями направленности ответвителей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, в рамках базовой части Государственного Задания 8.6872.2017/8.9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Campanella C.E., Leonardis F., Mastronardi L., Malara P., Gagliardi G., Passaro M.N. Investigation of refractive index sensing based on Fano resonance in fiber Bragg grating ring resonators // OPTICS EXPRESS . - 2015. - №11.

2. Насыбуллин А.Р. Преобразовательные элементы на основе полосковых брэгговских структур для СВЧ датчиков параметров технологических процессов // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. №3. С. 129-131.

3. О.Г. Морозов, А.Р. Насыбуллин Свойства сложно-периодических неоднородных систем в радиочастотных и оптических направляющих структурах // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2015. №3(18). С. 20-22.

MICROSTRIP MICROWAVE STRUCTURE WITH FANO RESONANCE

Nasibullin A. R., Vaziev T. O., Farhutdinov R. V.

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

The article presents the simulation results of the microstrip microwave structure of the ring configuration, which, by analogy with the fiber-optical prototype, embodies the principle of Fano resonance formation. This type of resonance is characterized by the asymmetry of

the shape and has a narrower resonance than the classical Gaussian and Lorentzian forms.

УДК 621.396.677.7

АНАЛИЗ ЩЕЛЕВОЙ ЛИНИИ С АКТИВНОЙ ПЛЕНКОЙ

Солдатов А.А., Майоров А.Г.

(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)

Рассмотрим щелевую линию в прямоугольном волноводе с активной пленкой, показанную на рис.1.

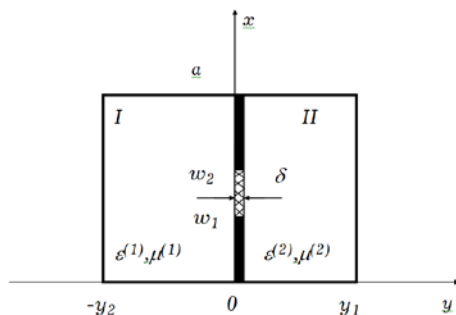


Рис. 1. Щелевая линия с активной пленкой

Выведем двухсторонние граничные условия для полупроводниковой пленки в щели в линейном приближении и перейдем к Фурье -компонентам по переменной x на отрезке $[0, a]$ и будем характеризовать области 1 и 2 тензорами входных адмитансов $\left[Y_{mij}^{(k)} \right] \quad (k = 1, 2)$.

Затем, используя граничные условия, можно получить интегральное уравнение относительно составляющей E_x :

$$\int_{w_1}^{w_2} G(x, x') E_x(x') dx' + ik \delta \left(\varepsilon_n - \frac{\gamma^2}{k^2 \mu_n} \right) E_x(x) = 0, \quad (1)$$

Используя преобразования Швингера, из уравнения (1) получается дисперсионное уравнение:

$$Y_{022} - t \ln s + i \frac{\delta}{k \mu_n} k_c^2 = 0, n = 0^*$$

Решая дисперсионное уравнение методом Дживса-Хука в фортране и в Mathcad, получим для мнимой составляющей постоянной распространения кривую в волноводе сечением 7.2х3.6 мм, представленную на рис.2, кривая 1 для $\varepsilon = 3$, кривая 2 для $\varepsilon = 9.6$.

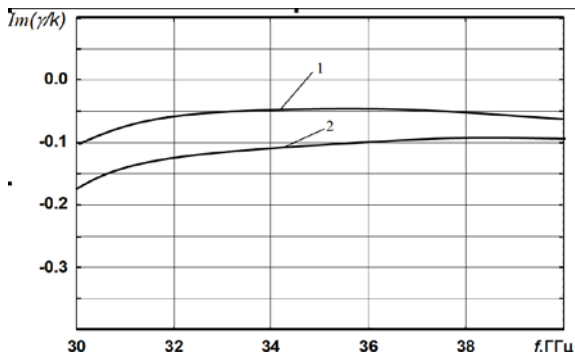


Рис. 2. Дисперсионные кривые

Результаты, приведенные на рис. 2 подтверждают известное положение об усилении электромагнитной волны в рассматриваемой структуре. Причем, в линии передачи с более узкой щелью наблюдается большее усиление волны (чем в структуре с более широкой щелью), что объясняется большей концентрацией электромагнитного поля в узких щелях.

SLIT LINE ANALYSIS WITH ACTIVE FILM

Soldatov A.A., Majorov A.G,

(Volga State University of Informatics and Telecommunications)

In the article, a gap line with an active film was investigated, a dispersion equation was obtained and solved, and graphs of the constant propagation were plotted as a function of frequency.

КАЗАНСКАЯ ШКОЛА МИКРОВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ

Морозов Г.А., Морозов О.Г., Гатауллина И.А.

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

В работе приводится обзор научных исследований и разработок в микроволновых технологиях проведенные в Научно-исследовательском институте «Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем» Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева. Анализируются разработки и исследования за 30 прошедших лет начиная с декабря 1987 года.

В работе анализируется развитие научных исследований в течении четырех этапов, а также совершенствование организационной структуры: Отраслевая научно-исследовательская лаборатория Минрадиопрома СССР; Научно-исследовательский центр Прикладной электродинамики КНИТУ-КАИ; Научно-исследовательский институт Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем. Приводятся результаты оригинальных постановок проблем и задач в области микроволновых технологий, квантовых разработок, радиофотонных методов и средств. Отдельно рассматриваются результаты подготовки научных кадров через аспирантуру и докторантуру, через связь новых научных исследований с различными дисциплинами студенческих программ на всех уровнях: бакалавриат, магистратура и специалитет. Объем научных публикаций различного уровня представленных в ведущих научных изданиях и журналах Российской Федерации и в ведущих Зарубежных изданиях представляется весьма значительным.

УДК 641.53.092

ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАСЛА И УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ВЕЩЕСТВА.

Смирнов С.В., Морозов Г.А., Стахова Н.Е.

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

В работе рассматриваются свойства жидких масляных сред под воздействием электромагнитных полей СВЧ диапазона.

Энергия СВЧ быстро становится тем средством, которое позволяет создавать новые технологические методы и процессы. Основными технологическими процессами, основанными на энергии СВЧ, являются размораживание, сушка, нагрев и термообработка, термомеханические воздействия, химические процессы (включая полимеризацию) при изготовлении изделий в кулинарии и других технологических процессах.

В отличие от традиционных способов, когда энергия передается нагреваемому объекту посредством лучеиспускания, конвекции или теплопередачи, при СВЧ-нагреве происходит генерация тепла внутри самого обрабатываемого объекта. Проникновение СВЧ-поля внутрь вещества дает возможность обеспечить достаточно равномерный нагрев по всему объему тела, избежав градиента (перепада) температур.

В ряде случаев технологический процесс может быть ускорен в десятки раз.

Энергия СВЧ — это очень удобный источник тепла, который в ряде случаев обладает несомненными преимуществами перед другими источниками. Такой источник не вносит каких-либо загрязнений при нагреве, отличается гибкостью в применении и управлении.

Обычно при проведении опытов используются полностью радиопрозрачные кюветы, но иногда целесообразно использование полупрозрачных кювет. Такие кюветы изготавливаются из диэлектрика с потерями, т.е. становятся полупрозрачными для электромагнитных волн. В этом случае часть энергии микроволн, проникает в объем обрабатываемой среды в кювете и обеспечивает микроволновый нагрев материала. Другая часть микроволновой энергии поглощается материалом кюветы, подогревает ее. Такое комбинированное воздействие позволяет обеспечить равномерный

нагрев материала в кювете по всему ее объему. Такая комбинация теплового и микроволнового нагрева способна обеспечить разницу температур в центральной части и на периферии кюветы в единицы градусов.

Анализ источников публикаций, научных материалов показал, что практически отсутствует информация о результатах воздействия СВЧ - энергии на масляные среды.

Нами проводились исследования воздействия СВЧ нагрева на важнейшие параметры: теплопроводность и теплоемкость.

Результаты экспериментальных исследований воздействия на характеристики масла и воды методом сравнения.

Таблица 1: Определение удельной теплопроводности масла методом сравнения

$$\alpha_{\text{ср}} = 49 \frac{\text{дБ}}{\text{м}}$$

$t, ^\circ\text{C}$	$\alpha, \frac{\text{дБ}}{\text{м}}$
5,5	54,5
7,0	53,0
10,0	48,5
11,25	45,1
12,5	44,1

α - постоянная затухания

$\alpha_{\text{ср}}$ - температура после воздействия 30% дозы СВЧ мощности

Таблица 2. Два замороженных образца

масло		вода	
41°C	Δ	41°C	Δ
31	10	22,5	18,5
28	13	18,0	23,0
27	14/12,3	16,0	25,0/22,17
+12 в гильзе с маслом		+6 в гильзе с водой	

Δ – погрешность установившейся температуры

Вывод: вода отдает тепло быстрее

Таблица 3. Теплопроводность

	0°C	50	100
вода	0,474	0,557	0,587
масло каст.	0,158	0,152	0,147

Удельная теплоемкость воды C_p (кал/г*град)

Вывод: исследования показали, что у масла теплопроводность меньше, чем у воды.

Определение удельной теплопроводности масла методом сравнения показало, что его теплопроводность меньше

теплопроводности воды и при минусовой температуре равна $0,55 \frac{\text{кал}}{\text{г-град}}$; при 0°C и малой плюсовой температуре $0,35 \frac{\text{кал}}{\text{г-град}}$, $\varepsilon \approx 2,5$.

Исследования показали, что теплопроводность масла гораздо меньше теплопроводности воды.

Заключение: Экспериментальные исследования воздействия СВЧ нагрева значительно сокращает время размораживания масла, что приводит к увеличению производительности изделий кулинарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Морозов Г.А., Низкоинтенсивные микроволновые биотехнологии. Крайне-высокочастотные эффекты в производстве сельскохозяйственной продукции. Том 1. Морозов О.Г., Таланов И.П., Таланов П.И., Гарифуллина Л.Ф., Степура А.В. Под редакцией Г.А. Морозова.-Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2016. – 180с.

СЕКЦИЯ 6. МЕТА- И НАНОСТРУКТУРЫ

Сопредседатели: Осипов О.В. д.ф.-м.н. (Самара);

Шатров А.Д. д.ф.-м.н. (Москва);

Данилаев М.П. д.т.н. (Казань).

УДК 537.87

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАЛООТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Мишин Д.В., Осипов О.В., Рогова Н.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В настоящее время значительный интерес в диапазоне СВЧ представляет теоретическое и экспериментальное исследование различных метаматериалов, то есть искусственных сред, обладающих нестандартными электромагнитными свойствами, проявляющимися при их взаимодействии с падающим электромагнитным излучением. В большинстве случаев метаматериалы представляют собой композиционные структуры, состоящие из контейнера и размещенных в нём тонкопроволочных проводящих элементов. Особняком среди многообразия искусственных структур выступают, так называемые киральные метаматериалы, создаваемые на основе элементов зеркально асимметричной (киральной) формы [1]. Интерес представляет создание киральной метаструктуры, обладающей в некотором диапазоне частот СВЧ квази-нулевым уровнем отражения. Как показали предыдущие исследования [2], малое отражение для однослойных киральных структур на основе тонкопроволочных спиральных элементов удастся получить лишь на ряде дискретных частот, что снижает возможности их использования. В связи с этим предлагается использовать многослойные метаматериалы с различными электрофизическими характеристиками слоев. В частности, перспективным выглядит использование в качестве одного из слоев материала с большим значением относительной

магнитной проницаемости (например, феррита с хаотическими распределенными в нем тонкопроволочными спиральными микровключениями).

В предлагаемой работе проведен анализ отражения плоской электромагнитной волны линейной поляризации от планарного метаматериала, созданного на основе двухслойной структуры, расположенной на идеально проводящей подложке. Первый слой представляет собой киральный метаматериал с преобладанием электрических процессов (т.е. с $\varepsilon_1 \gg \mu_1$; ε_1 и μ_1 — относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости 1-го слоя). Слой создается на основе тонкопроволочных спиральных элементов, хаотически ориентированных в диэлектрическом контейнере. Второй слой представляет собой киральный метаматериал с преобладанием магнитных процессов (т.е. с $\varepsilon_2 \ll \mu_2$; ε_2 и μ_2 — относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости 2-го слоя). Структура расположена на идеально проводящей подложке. Геометрия задачи приведена на рис. 1.

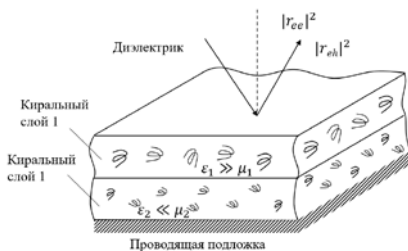


Рис. 1. Геометрия задачи

В работе рассматривалась задача об определении коэффициентов отражения основной и кросс-поляризованной компонент поля при падении плоской электромагнитной волны на описанную выше двухслойную киральную метаструктуру, которая является бесконечно протяженной вдоль оси Oz. На метаматериал из внешней области под углом θ падает плоская электромагнитная волна перпендикулярной поляризации. При решении задачи учитывалась дисперсия материальных параметров кирального слоя, а также кросс-поляризация поля, возникающая при отражении волны от сред с киральностью. Решение задачи

проводилось методом частичных областей, в результате чего была получена система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов отражения основной и кросс-поляризованной компонент электромагнитного поля, а также коэффициентов отражения и прохождения волн с круговыми поляризациями в киральных слоях 1 и 2. При анализе численных характеристик основной интерес представлял расчет частотных зависимостей квадратов модулей коэффициентов отражения основной и кросс-поляризованной компонент поля ($|r_{ee}|^2$ и $|r_{eh}|^2$, соответственно).

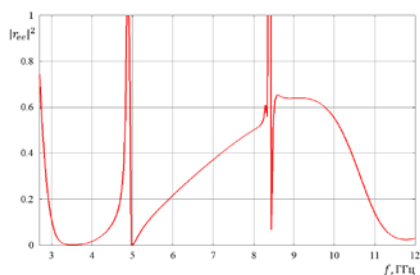


Рис. 2. Частотные зависимости квадрата модуля коэффициента отражения основной компоненты поля $|r_{ee}|^2$

На рис. 2 представлены частотные зависимости квадрата модуля коэффициента отражения основной компоненты поля $|r_{ee}|^2$ в диапазоне от 2.5 до 12 ГГц. Расчет был выполнен при следующих значениях проницаемостей 1-го и 2-го слоев: $\varepsilon_1 = 3.5 - 0.2i$; $\mu_1 = 1$; $\varepsilon_2 = 3.5 - 0.2i$; $\mu_2 = 7 - 0.1i$. Спиральные элементы имели 3 витка. Как видно из рис. 2, при падении плоской электромагнитной волны на исследуемую метаструктуру наблюдается достаточно сложный характер отражения. Резонансные максимумы отражения связаны с наличием резонансных спиральных элементов. Во-первых, наблюдаются резкие одиночные резонансные минимумы отражения на частотах около 5 и 8.5 ГГц, которые свойственны однослойным киральным метаматериалам на основе диэлектрических контейнеров. Во-вторых, что, несомненно представляет интерес, существует диапазон частот от 3.35 до 3.75 ГГц, в котором на всех частотах

отражение основной компоненты поля практически отсутствует. Как было доказано (уменьшением магнитной проницаемости 2-го слоя), наличие диапазона частот с почти-нулевым отражением связано с достаточно большим значением μ_2 . Таким образом, в работе выяснено, что для создания малоотражающих покрытий, позволяющих работать не только на дискретных частотах, но и в некоторых диапазонах частот, необходимо использовать магнитодиэлектрические контейнеры с $\mu \gg 1$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lindell, I.V. Electromagnetic waves in chiral and bi-isotropic media / I.V. Lindell, A.H. Sihvola, S.A. Tretyakov, A.J. Viitanen. — London: Artech House, 1994. — 291 p.

2. Осипов, О.В. Использование эффекта азимутального рассеяния электромагнитных волн метаструктурой на основе элементов Телледжена в прикладных задачах электродинамики / О.В. Осипов, А.М. Плотников, Н.Р. Салимова // Инфокоммуникационные технологии. — 2012. — Т.10. — №1. — С.8-15.

THE PLANAR CHIRAL MULTILAYERED METAMATERIALS USING FOR CREATION OF METALLIZED OBJECTS SMALL REFLECTED COVERS

D.V. Mishin, O.V. Osipov, N.V. Rogova
*(Volga state university of telecommunications
and informatics)*

The paper considers the solution of the problem of plane linearly polarized electromagnetic waves reflection from a 2-layered planar metastructure consisting of thin-wire perfectly conducting helices matrix. The dispersion model is built for considered metamaterial. The first layer has a dielectric container. The second layer has a container with a high value magnetic permeability. The problem was solved by the partial areas method and solution was reduced to a linear algebraic equations system for the unknown main and x-polarized reflection coefficients. It is proved that the metastructure is a frequency selective screen for microwave radiation at some frequencies.

УДК 537.87

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНО- И
МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАНАРНЫХ МЕТАСТРУКТУР
НА ОСНОВЕ ТОНКОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ
ЭЛЕМЕНТОВ СПИРАЛЬНОЙ ФОРМЫ**

Осипов О.В., Почепцов А.О., Сухова Е.А., Коршунов С.А.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В настоящее время активно проводятся теоретические и экспериментальные исследования метаматериалов (метасред), то есть композиционных структур, искусственно создаваемых на основе двух или более материалов. Одним из классов подобных структур являются киральные метаматериалы [1, 2], то есть, материалы, создаваемые путем равномерного размещения и одинаковой ориентации зеркально асимметричных элементов в диэлектрическом контейнере. В работе проводится исследование характеристик одно- и многослойных планарных киральных метаматериалов на основе двумерных матриц тонкопроволочных спиральных элементов, размещенных в диэлектрической среде-контейнере.

1. Однослойный планарный метаматериал. Структура представляет собой планарный диэлектрический слой, в котором равномерно размещены и хаотически ориентированы тонкопроволочные идеально проводящие многovitковые спирали (рис. 1). В работе проведено решение задачи об отражении плоской электромагнитной волны линейной поляризации от подобного метаматериала толщины h . При решении задачи учитывалась дисперсия материальных параметров кирального слоя, а также кросс-поляризационные эффекты, возникающие при отражении волны от сред с киральностью. Решение задачи проводилось методом частичных областей, в результате чего была получена система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов отражения и прохождения основной и кросс-поляризованной компонент электромагнитного поля. При анализе численных характеристик основной интерес представлял

расчет частотных зависимостей отраженной ($10 \lg|r_{ee}|^2$ и $10 \lg|r_{eh}|^2$) и прошедшей ($10 \lg|t_{ee}|^2$ и $10 \lg|t_{eh}|^2$) мощностей (в дБ). Контейнер моделировался на основе пенополистирола С-35 с относительной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 1.5$. Число витков спирали 3.

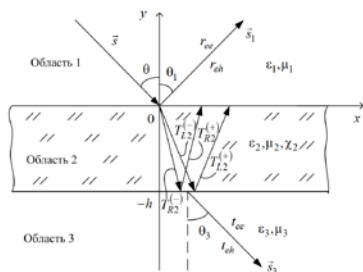


Рис.1

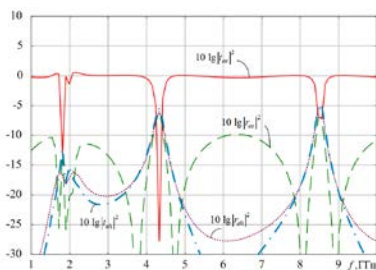


Рис. 2

На рис. 2 представлены частотные зависимости отраженной и прошедшей мощностей поля в диапазоне от 1 до 10 ГГц. Шаг спирали равнялся 0.05 м, радиус витка — 0.01 м, радиус проволоки — 0.002 м, расстояние между соседними спиралями — 0.05 м. Как видно из рис. 2, ослабление прошедшей мощности основной компоненты имеет резонансы не только на основной частоте 1.88 ГГц, но и на частотах около 4.3 ГГц и 8.5 ГГц. На этих частотах происходит значительная кросс-поляризация поля и коэффициенты отражения и прохождения кросс-поляризованной компоненты имеют максимумы, однако и в данном случае часть энергии поля падающей волны переходит в энергию поверхностных волн, но более меньшая, чем на основной резонансной частоте. На всех других частотах метаструктура является прозрачной для СВЧ излучения.

2. Двухслойный кирально-диэлектрический метаматериал. В данном случае метаматериал состоит из двух слоев, один из которых представляет собой диэлектрический контейнер с малым значением угла диэлектрических потерь, в котором равномерно размещены и произвольно ориентированы тонкопроволочные спиральные элементы, второй является однородным диэлектрическим (рис.3). Различие между двумя

слоями состоит в значениях их геометрических (толщина слоя, размеры спиралей) и материальных (диэлектрическая проницаемость и параметр киральности) параметров. Для решения задачи был применен адаптированный для случая киральных метаслоев метод матриц передачи. На первом этапе, с использованием метода частичных областей, были найдены локальные матрицы передачи для двух слоев. На втором этапе была найдена интегральная матрица передачи двухслойной структуры, полученная путем перемножения локальных матриц передачи слоев, которая связывает между собой векторы напряженностей электрического и магнитного полей в областях над и под двухслойной метаструктурой. В результате была получена неоднородная система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов отражения и прохождения основной и кросс-поляризованной компонент поля. На рис. 3 представлены частотные зависимости отраженной и прошедшей мощностей основной компоненты поля в диапазоне от 1 до 6 ГГц. Сплошными кривыми на рис. 3 показаны зависимости прошедшей мощности основной компоненты ($\alpha_{np} = 10 \lg |t_{ee}^{(4)}|^2$); штриховыми линиями — отраженной мощности основной компоненты ($\alpha_{обр} = 10 \lg |r_{ee}^{(1)}|^2$).

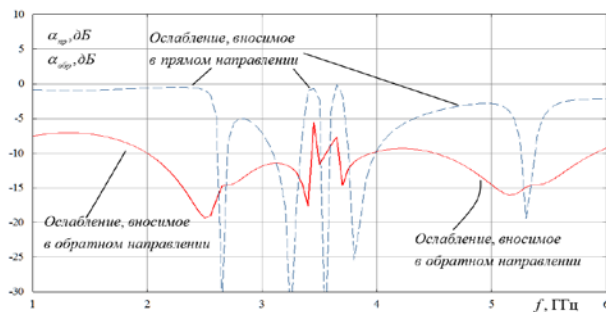


Рис. 3

В результате численного анализа были выявлены следующие особенности двухслойного кирально-диэлектрического метаматериала на основе тонкопроволочных спиралей:

1. Двухслойная структура, как и однослойная, обладает ярко выраженными частотно селективными свойствами, однако спектр резонансных частот, на которых осуществляется трансформация вектора Пойнтинга, составляют частоты как 1-го, так и 2-го слоя.

2. В отличие от однослойных киральных метаструктур имеет место значительный рост отражения кросс-поляризованной компоненты поля на резонансных частотах трансформации вектора Умова-Пойнтинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Capolino, F. Theory and Phenomena of Metamaterials / F. Capolino // Taylor & Francis – CRC Press, 2009. — 992 p.

2. Lindell, I.V. Electromagnetic waves in chiral and bi-isotropic media / I.V. Lindell, A.H. Sihvola, S.A. Tretyakov, A.J. Viitanen. — London: Artech House, 1994. — 291 p.

THE CHARACTERISTICS RESEARCH OF ONE- AND MULTILAYERED PLANAR METASTRUCTURES BASED ON THE THIN-WIRE CONDUCTING HELICES

O.V. Osipov, A.O. Pocheptsov, E.A. Sukhova, S.A. Korshunov
(*Volga state university of telecommunications and informatics*)

The paper considers the solution of the problem of plane linearly polarized electromagnetic waves reflection from a planar one and multilayered chiral metamaterials consisting of thin-wire perfectly conducting helices matrix. The dispersion model is built for considered metamaterial. The problem was solved by the partial areas method and solution was reduced to a linear algebraic equations system for the unknown reflection and transmission coefficients. The frequency selective investigated metamaterial properties were identified as a numerical analysis result. The frequency dependencies of reflection and transmission coefficients modules of the main and cross-polarized field components at the different containers geometrical and the chiral metamaterial inclusions dimensions are considered. The metastructures enable the conversion of normally incident radiation in the scattering in the plane of the structure at some frequencies.

УДК 537.87

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ОДНОСЛОЙНЫХ ПЛАНАРНЫХ МЕТАСТРУКТУР НА
ОСНОВЕ ТОНКОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ
ДВУСВЯЗАННЫХ СПИРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Осипов О.В., Резепова Е.С., Коршунов С.А.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В настоящее время значительный интерес в СВЧ и оптическом диапазонах представляет исследование различных типов метаматериалов, то есть структур, обладающих нестандартными (для естественных сред) свойствами, возникающими при их взаимодействии с падающим излучением [1]. В СВЧ диапазоне метаматериалы представляют собой композитные структуры, состоящие из контейнера и размещенных в нём проводящих элементов. Особенный интерес представляют так называемые киральные метаматериалы, создаваемые на основе элементов зеркально асимметричной формы [2].

В предлагаемой работе проведен анализ отражения плоской электромагнитной волны линейной поляризации от планарного слоя метаматериала, созданного на основе двойных взаимноперпендикулярных тонкопроволочных спиральных элементов, а также построена дисперсионная модель такого метаматериала. Рассматривалась задача об определении коэффициентов отражения и прохождения при падении плоской электромагнитной волны на планарный слой кирального метаматериала, который является бесконечно протяженным вдоль оси Oz . Геометрия задачи приведена на рис. 1. На киральный метаматериал из полубесконечной диэлектрической области 1 (ε_1 и μ_1 – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости) под углом θ падает плоская электромагнитная волна линейной перпендикулярной поляризации. Область 2 на рис. 1 представляет собой планарный слой кирального метаматериала толщины h (ε_2 и μ_2 – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости; χ_2 – относительный параметр киральности).

Киральный метаматериал состоит из двойных взаимноортогональных многовитковых тонкопроволочных спиралей, которые равномерно размещены в планарном контейнере (рис. 2). Совокупность двух взаимноортогональных спиралей будем называть объединенным спиральным элементом. Предполагается, что две спирали в объединенном могут обладать различными геометрическими параметрами и числом витков. В случае киральной среды предполагается, что элементы ориентируются произвольно в контейнере. Объединенные элементы равномерно расположены в контейнере на расстоянии d друг от друга. На рис. 2 для примера показан пример используемого объединенного спирального элемента.

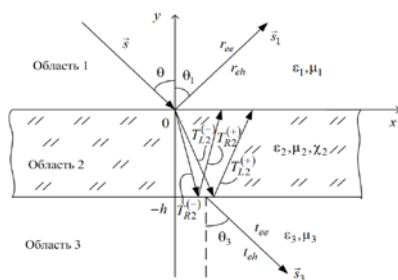


Рис.1



Рис. 2

При решении задачи учитывалась дисперсия материальных параметров кирального слоя, а также кросс-поляризационные эффекты, возникающие при отражении волны от сред с киральностью. Решение задачи проводилось методом частичных областей, в результате чего была получена система линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных коэффициентов отражения и прохождения основной и кросс-поляризованной компонент электромагнитного поля.

При анализе численных характеристик основной интерес представлял расчет частотных зависимостей отраженной ($10 \lg |r_{ee}|^2$ и $10 \lg |r_{eh}|^2$) и прошедшей ($10 \lg |t_{ee}|^2$ и $10 \lg |t_{eh}|^2$) мощностей (в дБ). Контейнер моделировался на основе пенополистирола С-35 с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{c2} = 1.5$. Интерес представляет случай различных по значениям

геометрических параметров спиралей в структуре объединенного элемента.

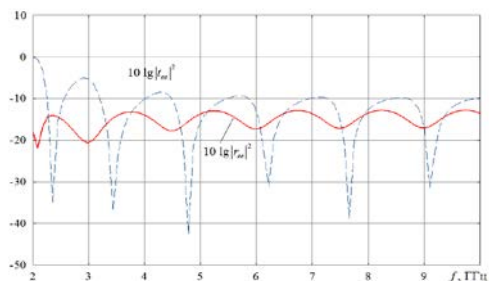


Рис. 3

На рис. 3 представлены частотные зависимости отраженной и прошедшей мощностей основной и кросс-поляризованной компонент поля в диапазоне от 1 до 10 ГГц. Штриховыми кривыми на рис. 3 показаны зависимости прошедшей мощности основной компоненты ($10 \lg |t_{ec}|^2$); сплошными линиями — отраженной мощности основной компоненты ($10 \lg |r_{ec}|^2$). Падение волны на метаструктуру считалось нормальным. Расчет был выполнен при следующих значениях параметров:

$$R_1 = 2R_2 = 0.01 \text{ м}, \quad N_{1,2} = 3, \quad r_1 = 2$$

$$r_2 = 0.002 \text{ м}, \quad H_1 = 2H_2 = 0.05 \text{ м}, \quad d_1 = 2d_2 = 0.05 \text{ м}.$$

Как видно из рис. 3, в случае несимметричного двойного спирального элемента возникает резкая частотная селективность прохождения электромагнитного излучения через метаматериал. В отличие от симметричного двойного спирального элемента здесь возникает сильная киральность и, как следствие, возникает набор дискретных частот, на которых электромагнитная волна через метаматериал не проходит и преобразуется в боковое рассеяние. На резонансных частотах структура может играть роль защитного экрана СВЧ.

Таким образом, наличие двух различных по геометрическим размерам спиралей в двусвязанном элементе увеличивает степень киральности всего метаматериала в целом и возникают частотная селективность прохождения

плоской электромагнитной волны через метаматериал и достаточно большая кросс-поляризация поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Capolino, F. Theory and Phenomena of Metamaterials / F. Capolino // Taylor & Francis – CRC Press, 2009. — 992 p.
2. Lindell, I.V. Electromagnetic waves in chiral and bi-isotropic media / I.V. Lindell, A.H. Sihvola, S.A. Tretyakov, A.J. Viitanen. — London: Artech House, 1994. — 291 p.

THE CHARACTERISTICS RESEARCH OF ONE-LAYERED PLANAR METASTRUCTURES BASED ON THE THIN-WIRE CONDUCTING TWO MUTUALLY ORTHOGONAL HELICES

O.V. Osipov, E.S. Rezepova, S.A. Korshunov

(Volga state university of telecommunications and informatics)

The paper considers the solution of the problem of plane linearly polarized electromagnetic waves reflection from a planar metamaterial layer consisting of thin-wire perfectly conducting two mutually orthogonal helices matrix. The dispersion model is built for considered metamaterial. The problem was solved by the partial areas method and solution was reduced to a linear algebraic equations system for the unknown reflection and transmission coefficients. The frequency selective investigated metamaterial properties were identified as a numerical analysis result. In particular, it is proved that the metastructure is a frequency selective screen for microwave radiation at some frequencies.

УДК 621.38.658

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ

Маннанова Э.Р., Спиридонов С.В.

(Казанский Национальный Исследовательский Технический университет - КАИ им. А.Н. Туполева)

Проанализированны наиболее эффективные методы выращивания квантовых точек[1,2,3,4]. На основе анализа выбран

метод осаждения CdSe КТ из коллоидного раствора. Для получения квантовых точек использовались прекурсоры кадмия и селена.

Для приготовления раствора прекурсора селена использован кристаллический селен, растворимый в октадецене с добавлением в качестве стабилизатор бромид цетилтриметиламмония. Для получения прекурсора кадмия использован оксид кадмия, растворимый в олеиновой кислоте с добавлением октадецена. Для получения квантовых точек раствор прекурсора кадмия, нагретый до 225 °С, быстро впрыскивается 1 мл раствора прекурсора селена комнатной температуры. После смешивания прекурсоров начинается быстрый рост КТ с увеличением их размера. Для получения квантовых точек заданных размеров образцы извлекались через точные интервалы времени. Выбран интервал времени в 12 с, так как это время соответствует росту ядра квантовой точки примерно на 0,8-1 нм.

Описанная выше методика является модифицированной. Анионный стабилизатор триоктилфосфин (ТОР) был заменен на бромид цетилтриметиламмония (СТАВ). Причиной поиска другого стабилизатора стала необходимость в более высокой адгезии КТ к полупроводниковым слоям светоизлучающей ячейки. Кроме того, согласно исследованиям[5] это позволит потенциально увеличить квантовый выход будущей светоизлучающей ячейки.

В ходе синтеза получены наборы квантовых точек CdSe с размерами от 1,8 нм до 8,2 нм с разбросом по размерам порядка 15%. Анализ размеров и структуры квантовых точек производился с помощью просвечивающей электронной микроскопии на оборудовании Carl Zeiss Libra 120. Успешный результат получения CdSe КТ с заданными размерами позволяет продолжить работу над изучением возможности их применения в светоизлучающих элементах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.С. Сперанская Приготовление водорастворимых квантовых точек CdSe/ZnS с кристаллической структурой сфалерита // Российские нанотехнологии. 2013, С. 100-104.
2. Штоббе И.А., Безносюк С.А.. Низкотемпературный синтез

полупроводниковых квантовых точек селенида цинка. Алтайский государственный университет // Известия Алтайского государственного университета. 2015. Т.1. № 1 (85) С. 12-15.

3. Byoung-Hwa Kwon, Hyunki Kim, Youngsun Kim, Dongseok Kang, Duk Young Jeon. // ECS Solid State Letters. — 2013. — V. 2(8).

4. Гофтман В.В. Силанизированные квантовые точки: получение, модификация и использование в иммуноанализе: Дис канд. хим. наук/ В. В. Гофтман – Саратов 2016 – 39 с.

5. M. G. Spirin, S. B. Brichkin, V. F. Razumov // KOLLOIDNYJ ZHURNAL, 2013, tom 75, № 4, s. 474-480

QUANTUM DOTS SYNTHESIS METHODIC STUDY FOR LIGHT EMISSION DIODES APPLICATIONS

Mannanova E.R., Spiridonov S.V.

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

Quantum dots synthesis methodic was studied for creating high effective light emission diodes. CdSe QD have synthesized in colloidal solution from Se and Cd precursors. A good size uniformity was obtained for set of 1,8-8.2 nm QD diameters.

УДК 620.3

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНОУРОВНЯ

Рахматуллин Б.А., Гайнуллина Н.Р.

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

В наше время всё более обширно развиваются технологии, построенные на наноуровне. Это происходит потому, что с уменьшением размеров элементов изменяются физические и химические свойства вещества, тем самым представляя интерес для науки. Роль, которую раньше исполняло устройство размером с банку газированной воды, теперь может выполнять устройство с монетку. Примером таких устройств являются микро- и наноэлектромеханические системы (MEMSs).

По определению микроэлектромеханические системы должны иметь дело с механическими откликами на электрические воздействия или, напротив, с электрическими откликами на механическую деформацию, однако в действительности их возможности гораздо шире. Это те же самые электромеханические устройства, предназначенные для механического движения при приложении напряжения или наоборот вырабатывать напряжение в ответ на механические воздействия, только в наномасштабе.

Главные преимущества MEMS-устройств - это миниатюрность, простота изготовления и размещения в больших количествах на одном чипе, а также возможность их интеграции в микроэлектронику. Простота и невысокая себестоимость при крупносерийном производстве, к примеру, позволила создать датчики нанометровых размеров для активации подушек безопасности в автомобилях.

Другим примером нанотехнологий является принцип использования самых маленьких алмазов в мире для изготовления проволоки толщиной три атома.

Захватив различные типы атомов и объединив их в стиле LEGO, новая технология потенциально может быть использована для создания крошечных проводов для широкого спектра применения, включая ткани, которые вырабатывают электричество, оптоэлектронные устройства, которые используют как электричество, так и свет, а также сверхпроводящие материалы, которые проводят электричество без каких-либо потерь.

Следующим примером может быть самовосстанавливающийся электрод аккумулятора, который восстанавливает сам себя, открывая новый и потенциально коммерчески жизнеспособный путь для создания следующего поколения литий-ионных аккумуляторов для электромобилей, сотовых телефонов и других устройств. Секрет кроется в эластичном полимере, которым покрывается электрод, связывая его вместе и самопроизвольно восстанавливая крошечные трещины, которые возникают во время работы батареи.

И, наконец, гибкие пальцы для микро-робототехники. Разработан первоклассный и мощный микромасштабный привод, который может изгибаться, как крошечный палец. Основываясь на оксидном материале, который расширяется и значительно сокращается в ответ на небольшое изменение температуры, исполнительные механизмы меньше толщины человеческого волоса и перспективны для микрожидкостей, доставки лекарств и искусственных мышц.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF NANOSCALE

Rakhmatullin B. A., Gainullina N.R.

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

There were considered basic modern approaches of creating and applying innovative technologies of class of devices integrating electrical and mechanical functionality on the nanoscale such as Microelectromechanical systems, particularly those with moving parts. It merges at the nanoscale into nanoelectromechanical systems (NEMS) and nanotechnology.

УДК 67.02

СОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ

Гайнуллина Н.Р., Нургалиева А.Н.

*(Казанский Национальный Исследовательский Технический
Университет им. А. Н. Туполева)*

Фотошаблоны изготавливаются на высокотехнологичном и дорогостоящем оборудовании с помощью методов безмасочной литографии с использованием лазеров либо электронного луча. Фотошаблоны, используемые для производства самых современных высокопроизводительных микросхем, являются одной из самых дорогих составляющих производства, поскольку при их изготовлении используются сложные методы коррекции нежелательных эффектов, возникающих при сближении

топологической нормы и длины волны используемого для экспонирования излучения.

Основой кристалльного производства является процесс формирования топологии интегральных схем на фотошаблонах. Топология современной интегральной схемы сложна и состоит из десятков и сотен миллионов топологических элементов. Ее генерирование в соответствии с проектными данными за один цикл фотолитографии – неразрешимая задача. Поэтому необходимо использовать операции автоматического контроля топологии и устранения обнаруженных дефектов.

Первая из них (контроль топологии) – одна из самых дорогостоящих в процессе изготовления интегральных схем. Это оборудование, однако, быстро окупается, так как часто наличие лишь одного дефекта в одном слое интегральной схемы делает ее неработоспособной и приводит к миллионным убыткам. Аналогичная ситуация и с оборудованием для устранения дефектов топологии. Количество дефектов можно существенно уменьшить, используя пакет программ для моделирования процессов фотолитографии при переносе изображения с фотошаблона на полупроводниковую пластину.

Вторая из двух операций, используемых для контроля качества оригиналов топологии на фотошаблонах это контроль совмещаемости элементов различных слоев. Как и измерение микроразмеров, эта операция применяется выборочно и служит для отработки техпроцесса. Для измерения параметров используется специальное контрольно-измерительное оборудование.

Контроль рисунка фотошаблона на соответствие проектным данным – основная операция контроля, выполняемая для всех фотошаблонов путем сравнения параметров рисунка фотошаблона с проектными данными. Этот метод позволяет обнаруживать все типы дефектов согласно классификации SEMI. Контроль топологии проводится после операций травления и отмывки фотошаблона и повторяется после операции исправления дефектов. Заключительная операция контроля топологии проводится после защиты фотомаски пленкой (пеликлом).

CONTEMPORARY PHOTOSHABLON CONTROLS

Gainullina N.R. and Nurgalieva A.N.

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

Theme of our scientific work «Modern control of photomasks».

In this paper we consider several control processes for photomasks.

УДК 661.13

**ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СРЕДСТВ
ЗАЩИТЫ АВТОТРАНСПОРТА**

Бушуев Л.О. , Гайнуллина Н.Р.

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

Коррозия металлов является одной из первостепенных и важных проблем.

В промышленно развитых странах с большими объемами автомобилестроения проблема коррозии металлов становится особенно актуальной в последнее время в связи с тем, что для получения особо прочных материалов используются агрессивные среды, вызывающие особые формы коррозии. Кроме того, коррозия металлов наносит огромный экономический ущерб.

Применение новых эффективных средств антикоррозионной защиты позволит решить множество проблем: уменьшить потери металла и средств, снизить металлоемкость конструкций, уменьшить расход топливно-энергетических ресурсов, увеличить эксплуатационный период, например, в общественном автотранспорте.

В настоящее время известны такие методы защиты металлов от коррозии, как:

1) Легирование металлов. Это эффективный метод повышения коррозионной стойкости металлов за счет пассивации металла.

2) Защитные покрытия. Защитные покрытия не только предохраняют изделия от коррозии, но и придают поверхностям

ряд ценных физико-химических свойств (износостойкость, электрическую проводимость и др.). Они подразделяются на металлические и неметаллические.

3) Химические способы защиты. К ним относится, например, обработка поверхности металла веществами, вступающими с ним в химическую реакцию и образующими на его поверхности пленку устойчивого химического соединения, в формировании которой принимает участие сам защищаемый металл. К числу таких способов относится оксидирование, фосфатирование, сульфидирование и др.

4) Катодная защита авто в действии

Эффективным способом повышения коррозионной стойкости металлов является нанесение на их поверхность ингибиторов коррозии, способных перевести металл в устойчивое пассивное состояние.

Явление адсорбционной (безоксидной) пассивации железа, впервые наблюдавшееся в ФБГУ Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН) показало возможность обеспечения эффективной защиты металлов тончайшими адсорбционными слоями органических соединений и позволило отказаться от применения высокотоксичных хроматов и нитритов или экологически небезопасных масляных составов.

Интересные работы проводятся в МИЦ «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, где разрабатывается перспективная технология самозалечивающихся полимерных композиционных материалов. Самовосстанавливающиеся полимерные композиционные материалы представляют собой класс интеллектуальных материалов, обладающих способностью восстанавливать механические повреждения благодаря своей структуре. Протекание процесса заживления без вмешательства человека.

METHODS OF PROTECTION OF VEHICLES AGAINST CORROSION

Bushuev L.O. and Gainullina N.R.

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

УДК 535.2

РАСЧЕТ СПЕКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОСТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ НА ОСНОВЕ INGAAS

Сухова Е.А., Головкина М.В., Андрюхин О.А.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Использование в полупроводниковых излучающих структурах квантовых ям и квантовых точек приводит к изменению спектра излучения из-за влияния квантовых эффектов [1], [2], [3]. Преимущества лазера на квантовых точках по сравнению с лазером на квантовых ямах хорошо известны. К таким преимуществам относят сверхвысокую температурную стабильность пороговой плотности тока, гигантские коэффициенты максимального удельного усиления материала и максимального дифференциального усиления материала, на два-три порядка превышающие аналогичные значения для лазера на квантовых ямах. К преимуществам лазеров на квантовых точках можно также отнести малое время заселения основного состояния и, соответственно, высокие рабочие частоты [1].

Рассмотрим излучающие структуры на основе InAs, содержащие квантовые точки InGaAs. Учтем спектр энергетических уровней в квантовой точке InGaAs, возникающий в слоистой структуре за счет влияния квантово-размерных эффектов, при условии, что толщина излучающего слоя достаточно мала. В результате возникают добавочные энергетические уровни. Энергия таких уровней рассчитывается по формуле [4]:

$$E_n = \frac{\hbar^2 \pi^2 n^2}{2m^* L^2}, \quad (1)$$

где n - номер уровня, $n=1, 2, \dots$, m^* – эффективная масса носителей, L –размер квантовой точки или толщина квантовой ямы. Энергия отсчитывается от дна соответствующей зоны.

Рассмотрим модель спектра люминесценции полупроводникового лазера на основе многослойных гетероструктур. Модель спектра люминесценции светоизлучающих диодов, предложенная [4], позволяет исследовать спектры люминесценции различных гетероструктур и учесть зависимость спектральных характеристик от температуры,

ширины запрещенной зоны. Для расчетов возьмём следующее устойчивое выражение для расчета интенсивности излучения:

$$I(E_\phi) = \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{-(E_\phi - E_g^{eff})}{E_0}\right]} \cdot \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{m^{-1}(E_\phi - E_g^*) - \Delta F_n}{kT}\right]} \cdot \frac{1}{1 + \exp\left[\frac{(1-m^{-1})(E_\phi - E_g^*) - \Delta F_p}{kT}\right]}, \quad (2)$$

где E_ϕ - энергия Ферми; E_g^{eff} - эффективная ширина запрещенной зоны, ΔF_n - квазиуровень Ферми для электронов, ΔF_p - квазиуровень Ферми для дырок, E_0 - параметр экспоненты, E_g^* - ширина запрещённой зоны в активном слое, m - параметр, принимающий значения от 0 до 1.

Проведем расчет спектральных характеристик для структуры InGaNAI, которая содержит квантовые ямы (квантовые точки) InGaAs. Для аппроксимация энергии электрона в зоне проводимости с волновым числом k используем формулу Кейна:

$$E_c = \frac{E_g}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{2\hbar^2 k^2}{m^* E_g}} - 1 \right), \quad (3)$$

ширину запрещенной зоны в соединении $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ находим по формуле: $E_g = 0,324 + 0,7x + 0,4x^2$.

На рисунке 1 представлены результаты с расчетов интенсивности излучения гетероструктуры InGaNAI с квантовыми ямами (квантовыми точками) InGaAs со специально подобранными размерами и концентрацией примесей Ga. Кривая 1 соответствует толщине активного слоя (размерам квантовой точки) 10 мкм. Максимум излучения приходится на длину волны 1.55 мкм. Кривая 2 соответствует толщине квантовой ямы 32 нм, максимум излучения приходится на длину волны 1.3 мкм с учетом первого уровня размерного квантования. Мы видим, что при наличии квантовой ямы максимум излучения сдвинулся от 1.55 мкм до 1.3 мкм, при этом ширина линии излучения уменьшилась.

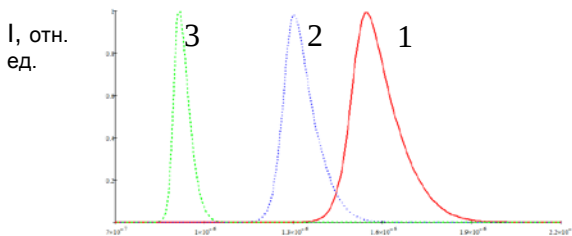


Рис. 1. График зависимости интенсивности излучения гетероструктуры для разных значений толщины активного слоя L . Концентрация $x=0.6$. Кривая 1: $L=10$ мкм, кривая 2: $L=32$ нм, $n=1$, кривая 2: $L=32$ нм, $n=2$

Таким образом, в рамках модели спектра люминесценции полупроводникового лазера на основе многослойных гетероструктур с квантовыми ямами проведены расчеты зависимости интенсивности излучения гетероструктуры InGaAs/GaAs от длины волны. Показано, что изменение концентрации примеси In приводит к сдвигу максимума люминесценции от длины волны 1,7 мкм до длины волны 1,55 мкм. Результаты, полученные в работе, могут применяться для создания гетероструктур InGaAs/GaAs, применяющихся в инжекционных лазерах для коротковолнового и ближнего инфракрасного диапазона, излучающих на заранее заданной длине волны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леденцов Н.Н. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства // Физика и техника полупроводников. –1998.– №4. – Т.32. – С. 385-410.
2. Golovkina M.V. Periodic semiconductor structures with metamaterials // Proceedings International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2009. Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Radar R and D. Tomsk, 2009. С. 133-137.
3. Golovkina M.V. Electromagnetic wave propagation in a multilayered periodic structure containing negative index material // IEEE International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON-2007. Tomsk, 2007. С. 174-178.
4. Евтихийев В.П., Константинов О.В., Матвеевцев А.В., Романов А.Е. Излучение света полупроводниковой структурой с квантовой ямой и массивом квантовых точек // Физика и техника полупроводников. – 2002.-Т.36. –Вып. 1. – С.2 –8.

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF INGAAS HETEROSTRUCTURES WITH QUANTUM DOTS

Sukhova E.A., Golovkina M.V., Andryukhin O.A.

(Volga state university of telecommunications and informatics)

The semiconductor heterostructures GaAs with InGaAs quantum walls and quantum dots are considered. The affect of concentration of dopant on spectral characteristic is studied. It is shown that the spectral maximum for considered structure can shift from 1,55 to 1,7 μm .

УДК 621.3.049.77.017.7

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ
ПОВЕРХНОСТИ СВЕТОДИОДА, С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХМЕРНОЙ
ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ**

Гайнуллина Н.Р., Мальцев А.А., Закиров М.Р.

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

Одномерные электротепловые модели широко применяются при анализе тепловых режимов светодиодов. Основной их недостаток, они не позволяют определять неравномерность теплового поля по поверхности кристалла полупроводника [1]. Градиент температуры у мощных светодиодов может достигать десятков градусов, создавая на поверхности кристалла зоны повышенной температуры, так называемые - тепловые точки. Именно в тепловых точках наиболее вероятно возникновение тепловых пробоев и, как следствие отказ светодиода. В этом случае для температурного разброса по поверхности кристалла необходимо переходить на двух и трехмерные электротепловые модели светодиодов. В работе представлена методика, основанная на использовании электротепловой аналогии, двухмерной тепловой модели светодиода. Двухмерная электротепловая модель кристалла мощного светодиода представляет собой матрицу из N резисторов и источников напряжения. Расчет электрических цепей проводится в программе *Tina-Ti*. В программе производится расчет узловых напряжений матрицы. Результат расчета экспортируется в TXT файл. Анализ полученных данных производится в EXCEL. Значения номиналов соотносятся с таблицей расположений узлов. Значения напряжения вносятся в ячейку EXCEL, соответствующую ей в *Tina-Ti*. расположения. Из полученной таблицы строится диаграмма распределения температуры по поверхности кристалла (Рисунок 1).

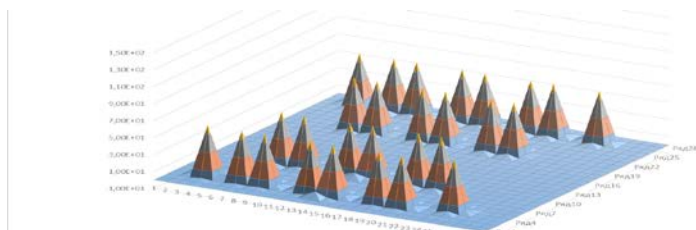


Рис. 1. Распределения температуры по поверхности кристалла светодиода.

Разработанная методика позволяет определять градиент температуры по поверхности кристалла мощного светодиода, прогнозировать появления зон повышенной температуры - тепловых точек и предпринять меры для устранения локальных перегревов, что повышает надежность работы светодиода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гавриков, А. А. Схемотехническое моделирование тепловых процессов в светодиодах / А. А. Гавриков // Материалы XXV ВНТК «Методы и средства измерения физических величин». – Н.Новгород, 2011. – С. 34.

METHOD FOR CALCULATING THE TEMPERATURE GRADIENT OF THE LED SURFACE, USING A TWO-DIMENSIONAL ELECTROTHERMAL MODEL

Gainullina N.R. Maltsev A.A. Zakirov M.R.

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

УДК 53.087.92

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПЛАНАРНО-ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ МЕЗА- СТРУКТУРЫ ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Кожевников И.О., Михайлов А.И., Митин А.В.

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

Высокоомный арсенид галлия является нелинейной активной средой, в которой в сильных электрических полях

возможно образование нескольких [1] видов неустойчивости тока, в том числе, ганновской, возникающей вследствие междолинного переноса электронов, и рекомбинационной, обусловленной механизмом захвата электронов глубокими примесными центрами [2-5]. Исследование особенностей проявления этих неустойчивостей в условиях воздействия однородного или локализованного оптического воздействия, а также механизмов управления конкретным видом неустойчивости в данной среде открывает перспективы создания различных электронных, оптоэлектронных и электрооптических приборов и устройств с широкими функциональными возможностями [5], способных осуществлять прием, обработку, хранение и передачу сложных информационных сигналов в широком диапазоне частот – от десятков кГц до десятков ГГц. В работе представлены и проанализированы такие функциональные возможности фотоэлектрического преобразователя, основанного на явлении рекомбинационной неустойчивости тока в высокоомном GaAs, отличающемся упрощенной структурой и выходным частотным сигналом большой амплитуды. Размер фоточувствительной области структуры составляет десятки микрометров и может быть уменьшен за счет совершенствования технологии. При этом, преобразователь обладает высокой чувствительностью к оптическому излучению в видимом и ИК диапазонах и линейностью характеристики зависимости частоты от освещенности.

Экспериментальные образцы были изготовлены на основе эпитаксиальных пластин n -GaAs марки САГ-2БК методом фотолитографии и представляют собой планарно-эпитаксиальные мезаструктуры $n^+ - n - n^- - n - n^+$ [6]. Металлические контакты к n^+ -слою выполнены на основе AuGe/Ni/Au.

Приложение к металлическим контактам мезаструктуры напряжения, больше порогового значения, приводит к возникновению токовых колебаний во внешней электрической цепи. Пороговое напряжение зависит от межконтактного расстояния и для 50 мкм составляет порядка 20 В. Частота токовых колебаний регистрируется с помощью осциллографа, фиксирующего изменение напряжения на нагрузочном резисторе, включенном последовательно со структурой. Воздействие оптического излучения малой интенсивности в видимом и ИК диапазонах приводит к росту частоты токовых колебаний, а при

высоких интенсивностях (более 10 мВт/мм^2) – к их срыву. При этом значение частоты токовых колебаний в зависимости от интенсивности засветки может изменяться в диапазоне от 5 кГц до 1 МГц, а порог интенсивности, при котором происходит срыв токовых колебаний, как и чувствительность, зависят от приложенного к мезаструктуре напряжения: с ростом напряжения порог срыва увеличивается, а чувствительность уменьшается [7].

Форма и амплитуда (порядка 10 мА) выходного сигнала преобразователя позволяет цифровым устройствам различать логические уровни «нуля» и «единицы», а благодаря линейности зависимости частоты импульсов выходного сигнала от освещенности данный преобразователь может осуществлять прямое преобразование интенсивности светового потока в цифровой выходной сигнал без использования схем АЦП, усиления сигнала и корректировки нелинейности, необходимых при использовании фотодиодных и фоторезисторных датчиков. Снимаемый с нагрузочного резистора сигнал подается через разделительный конденсатор на счетный вход микроконтроллера (таймер), при этом амплитуда сигнала регулируется с помощью изменения сопротивления нагрузочного резистора. Разделительный конденсатор выполняет функцию фильтрации постоянной составляющей и одновременно защищает вход микроконтроллера от превышения входного напряжения в случае электрического пробоя полупроводниковой структуры преобразователя.

Функциональные особенности цифрового фотоэлектрического преобразователя на основе высокоомного GaAs позволяют использовать его в качестве ключевого элемента, управляемого светом; датчика светового потока с частотным выходом; датчика дугозащиты; автогенератора импульсов; также возможна реализация выполнения любых логических функций при соответствующем соотношении интенсивностей оптических сигналов и питающего напряжения. Благодаря описанным особенностям выбора напряжения питания преобразователя, чувствительность в режиме измерения интенсивности засветки и порог срабатывания в режиме логического датчика могут изменяться программой микроконтроллера.

Разработанный преобразователь позволяет осуществлять прямое преобразование аналогового оптического сигнала в цифровой электрический без использования схем АЦП и

усилителей, вносящих погрешности в преобразуемый информационный сигнал, что способствует увеличению точности и снижению энергопотребления. Помимо этого, данный преобразователь, имея размеры фоточувствительной области порядка 50×50 мкм, обладает высокой чувствительностью, порядка $50 \text{ КГц}/(\text{мВт}/\text{мм}^2)$, благодаря чему может быть реализован в составе большой интегральной схемы по технологии СнК – система на кристалле (SoC – System-on-a-Chip) что существенно уменьшит габариты конечного устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И. П., Миронов А. Г. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках. М.: Изд-во «Наука», 1972. 416 с.

4. Neumann A. Slow domains in semi-insulating GaAs // J. Appl. Phys. 2001. V. 90, N. 1. P. 1–26.

5. Kiyama M., Tatsumi M., Yamada M. Electric-field-enhanced electron capture coefficient of EL2 level in semi-insulating GaAs // Appl. Phys. Lett. 2005. V. 86. P. 012102-1–012102-3.

6. Михайлов А.И., Митин А.В., Кожевников И.О. Особенности возникновения устойчивых колебаний тока большой амплитуды в длинных высокоомных планарно-эпитаксиальных структурах на основе арсенида галлия // Микроэлектроника СВЧ: Всерос. конф.: сборник трудов. – СПб.: ГЭТУ, 2012. Том 1. С. 49–53.

7. Муравский Б.С., Рубцов Г. П., Григорьян Л. Р., Куликов О. Н. Электрофизические и фотоэлектрические свойства транзисторных структур с распределенным эмиттером и функциональные приборы на их основе // Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2000. № 10.

8. Михайлов А. И., Митин А. В., Кожевников И. О. Особенности возникновения устойчивых колебаний тока большой амплитуды в длинных высокоомных планарно-эпитаксиальных структурах на основе арсенида галлия // Известия вузов. Радиоэлектроника, 2015. Том 58, № 4, С. 59-64.

9. Михайлов А. И., Митин А. В., Кожевников И. О. Функциональный однокристалльный преобразователь свет-частота на основе высокоомного n-GaAs // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2014. Т. 17. № 4. – С. 64-69.

**FUNCTIONALITY OF THE FREQUENCY OUTPUT LIGHT SENSOR
BASED ON SEMIINSULATING GALLIUM ARSENIDE PLANAR-
EPITAXIAL MESA STRUCTURE**

I.O. Kozhevnikov, A.I. Mikhailov, A.V. Mitin

(Saratov State University)

Presents and analyzes the functionality of the current recombination instability in a frequency output light sensor with a simplified structure based on semiinsulating *n*-GaAs. The size of the photosensitive region is tens of micrometers and can be reduced with improvement of technology. The converter has high optical radiation sensitivity in the visible and IR ranges and the linearity of the frequency via illumination dependence. The effect of the visible and IR radiation causes to an increase of current oscillations frequency in the range from 5 kHz to 1 MHz, and at high radiation or magnet intensities causes to a breakdown. The current oscillations frequency can vary via the intensity of illumination, and the intensity threshold at which the current oscillations disrupt depends on the mezastructure applied voltage. The functional features of the photoelectric converter allow the application as a light controlled key element, frequency output light sensor, light controlled pulse generator, logic switcher. Designed converter allows conversion of an analog optical signal into a digital one without the use of ADC circuits and amplifiers, which introduce errors into the converted signal. Also, this converter can be implemented as part of a large integrated circuit using the SoC technology (System-on-a-Chip) that will significantly reduce the dimensions of the final device.

УДК 53.083.98

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ
ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ В ПОЛИМЕРНЫХ
СТЕКЛАХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ТРЕБУЕМОЕ
СВЕТОПРОПУСКАНИЕ**

***Куклин В.А., Шилов Н.С., Дорогов Н.В., Данилаев М.П.,
Курангышев А.В.***

*(Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань)*

Одной из основных задач при создании изделий из полимерных материалов (например, полиметилметакрилат,

поликарбонат) с высоким светопропусканием является повышение их стойкости к царапанию (абразивостойкость). Решение этой задачи возможно, например, за счет введения в полимерную матрицу дисперсных частиц наполнителя. В настоящее время разработаны множество способов создания дисперсно наполненных полимерных композиций (ДНПК), стойких к царапанию [1,2] и проведены исследования оптических характеристик [3]. Однако при создании таких ДНПК в них образовывались агломераты дисперсных частиц наполнителя. Это приводило к большим погрешностям при оценке зависимости величины светопропускания от концентрации в полимере дисперсных частиц заданных размеров.

Целью данной работы является определение концентрации не агломерированных дисперсных частиц наполнителя в полимере, при которой возможно обеспечить требуемую величину светопропускания.

Для достижения поставленной цели изготавливались образцы поликарбоната (ПК), наполненного дисперсными частицами наполнителя трех типов:

1. Субмикронные частицы наполнителя, характерный размер которых много меньше длин волн видимого диапазона спектра. В качестве таких частиц использовались частицы корунда Al_2O_3 с размерами 70 – 190 нм.

2. Частицы микронных размеров. В качестве таких частиц использовались частицы нитрида бора BN – 5 мкм.

3. Частицы миллиметровых размеров, показатель преломления которых близок к показателю преломления поликарбоната (1,58). В качестве таких частиц использовались стеклонити (Е-стекло): длина 1 мм, диаметр 13 мкм.

Образцы изготавливались методом прессования из расплава пленки ПК. Пленку ПК, наполненную дисперсными частицами, получали из раствора ПК. Такой подход к получения образцов позволил обеспечить однородное распределение частиц в полимерной матрице и уменьшить количество и характерный размер их агломератов. Были изготовлены образцы с различной концентрацией по массе дисперсных частиц наполнителя.

Измерение светопропускания образцов проводилось на установке, структурная схема которой приведена на рис.1: 1 – импульсный блок питания со стабилизацией тока через светодиод (540нм) 2 – светодиод; 3 – фотодиод ФД-25к; 4 – усилитель; 5 – осциллограф. Методика проведения измерений заключалась в определении отношения среднего значения пропускания света через образец поликарбоната с введенными частицами (I_{cp}) к значению пропускания света через воздух (I_0).

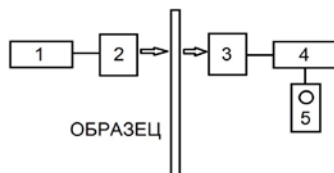


Рис.1.

Результаты проведенных экспериментов показывают, что предельная концентрация по массе, при которой сохраняется светопропускание не ниже 0,7, составляет: для образцов с частицами Al_2O_3 – 0,27%; для образцов с частицами BN– не более 0,1%, для образцов со стеклонитями максимально вводимая концентрация была 1%, и светопропускание составляло ~0,928. Таким образом, для обеспечения высокого светопропускания достаточно армировать поликарбонат относительно дешевыми стеклонитями, имеющими показатель преломления близкий, к показателю преломления поликарбоната. Следует отметить, что в случае необходимости обеспечения требуемого значения прозрачности поликарбоната, требуется учитывать рассеяние света в телесном угле 2.5° от направления излучения источника. По нашим оценкам, наиболее целесообразным наполнителем ПК в этом случае являются частицы субмикронных размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Ю.Золкина, С.А.Радзинский, В.В.Америк, Т.И.Андреева, И.Д.Симонов-Емельянов, Н.В.Апексимов, А.У.Усеинов, К.С.Кравчук Исследование влияния нанонаполнителей на

абразивостойкость и оптические характеристики поликарбоната// Пластические массы. №6. 2012. С.51-55.

2. Патент РФ на изобретение № 2447105 МПК7 C08L 69/00, C08K 3/22, C08K 3/36. Термопластичная, стойкая к царапанию полимерная композиция. С.А.Радзинский, И.Ю.Золкина, В.В.Америк, Т.И.Андреева; заявитель и патентообладатель – Открытое акционерное общество "Институт пластмасс имени Г.С. Петрова" (RU), заявл. 24.11.2010; опубл. 10.04.2012.

3. И.Ю.Золкина, С.А.Радзинский, В.В.Америк, Т.И.Андреева, И.Д.Симонов-Емельянов, Н.В.Апексимов Исследование влияния смеси нанонаполнителей на абразивостойкость и оптические характеристики поликарбоната// Пластические массы. №7. 2012. С.36-39.

FILLER PARTICLES MAXIMUM CONCENTRATION IN POLYMER GLASSES FOR LIGHT TRANSMISSION IDENTIFICATION

V.A. Kuklin, N.S. Shilov, N.V. Dorogov, M.P. Danilaev, A.V.

Kurangyshev

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

Annotation: The maximum concentration of filler dispersed particles in polymer glasses influence for the light transmission is considered in that paper.

СЕКЦИЯ 7. ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНЕ

Сопредседатели:

Антипов О.И. д.ф.-м.н. (Самара);

Щербакова Т.Ф. к.т.н. (Казань);

Аглиуллин А.Ф. к.т.н. (Казань)

УДК 621.317:615.471

МАГНИТОТЕРАПИЯ МЕДЛЕННОМЕНЯЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Можгинский В.Л., Скворцов Н.В.

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

Под магнитотерапией в настоящее время понимают использование с лечебно-профилактическими целями электромагнитного поля искусственного происхождения, в частности постоянного или переменного магнитного поля.

Биологически активным является любое МП, величина которого отличается как в сторону увеличения, так и уменьшения геомагнитного поля, составляющего десятки мкТл.

В зависимости от значений индукции магнитные поля, применяемые в магнитотерапии, условно подразделяют на сверхслабые — $< 0,5$ мТл, слабые — $0,5...50$ мТл, средние — $50...500$ мТл, сильные — > 500 мТл.

Исследования и указания по применению магнитотерапии имеются ещё у Парацельса, который видел в магнетизме специфическую сигнатуру железа и отмечал высокую действенность исцеления магнитом[1]. Важную роль в распространении магнитотерапии сыграло развитие медицинской промышленности, позволившее создать простые и надежные устройства для воздействия магнитных полей с различными физическими параметрами.

Несмотря на обширное применение современных аппаратов в быту и медицинских клиниках, существует область магнитотерапии, в которой используют сильное магнитное поле в виде простых механических конструкций с постоянными магнитами[2]. При локальном терапевтическом сеансе постоянный магнит медленно приближают и удаляют от места воздействия,

формируя таким образом медленноменяющееся магнитное поле. Существующие современные электронные аппараты локального воздействия, позволяющие создавать сильное магнитное поле, работают только в импульсном режиме короткой длительности, либо создают переменное магнитное поле, что не позволяет достигнуть требуемого результата воздействия. В связи с этим актуальной представляется задача создания современного магнитотерапевтического аппарата локального воздействия, позволяющего создавать сильное постоянное магнитное поле, и проведение исследований терапевтического воздействия с возможностью реализации биологической обратной связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Функциональные типы металлов в психологии и медицине : [в 2 т.] / Алла Селаври ; перевод А. Локтева. - Санкт-Петербург : Деметра. Т. 2. - 2011. - 351 с.
2. Roth D, Wirz C, Krüerke D. Magnetismus und Magnettherapie in der Anthroposophischen Medizin. Der Merkurstab. Zeitschrift für Anthroposophische Medizin 2017;70(4):298-311.

MAGNET THERAPY WITH A SLOWLY CHANGING MAGNETIC FIELD

Mozhginskiy V. L., Skvortsov N.V.

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

The urgency of the problem of creation of a modern magnet therapeutic apparatus of local influence, allowing to create a strong permanent magnetic field, and carrying out of researches of therapeutic influence with possibility of realization of biological feedback is grounded.

УДК 621.37; 612.82

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА В ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ

Антипов О.И., Самойлова Д.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В конце прошлого века возникло и успешно развивается новое и важное направление в теории и технике обработки сигналов, изображений и временных рядов, получившее название вейвлет-преобразование. Термин "вейвлет" (дословный перевод — маленькая волна) появился сравнительно недавно — его ввели Гроссман и Морле (Grossman & Morlet) в середине 80-х годов. В настоящее время семейство анализаторов, названных вейвлетами, начинает широко применяться в задачах распознавания образов; при обработке и синтезе различных сигналов, например, речевых; при анализе изображений самой различной природы (это могут быть изображение радужной оболочки глаза, рентгенограмма, спутниковые изображения облаков или поверхности планеты); для изучения свойств турбулентных полей; для упаковки больших объемов информации и во многих других случаях.

Вейвлет–преобразование сигналов является обобщением спектрального анализа, типичный представитель которого — классическое преобразование Фурье. Вейвлеты — это обобщенное название семейств математических функций определенной формы, которые локальны во времени и по частоте, и в которых все функции получаются из одной базовой (порождающей) посредством ее сдвигов и растяжений по оси времени. Преобразование сдвига по своему действию аналогично подвижным временным окнам, используемым в спектральном анализе. Второе преобразование аналогично преобразованию Фурье, но примененного к локализованной функции. Любой из применяемых вейвлетов порождает полную ортонормированную систему функций, построенную с использованием масштабного преобразования и сдвигов. Именно благодаря свойству полноты этой системы, можно осуществить восстановление процесса посредством обратного вейвлет - преобразования.

В статье [1] было проведено исследование особенности спектрального состава электроэнцефалограммы (ЭЭГ) у пациентов

с болезнью Паркинсона. В результате выявлено, что основной характерной особенностью ЭЭГ пациентов с болезнью Паркинсона является дезорганизация частотно - временной структуры электрических процессов в мозге. Частота всплесков ЭЭГ в течение записи хаотически изменялась в пределах нескольких герц, что было выше изменений частоты доминирующего α ритма у здоровых испытуемых. Половенко К.Г. в статье [2] исследовал применение вейвлет – анализа для определения качественных и количественных особенностей электроэнцефалограммы в норме и патологии. В результате было выявлено, что вейвлет – анализ пригоден для выявления таких патологий, как эпилепсия, черепно-мозговая травма, опухоль головного мозга, шизофрения, болезнь Паркинсона, инсульт и имеет явные преимущества перед традиционным спектральным анализом, обеспечивая корректное описание нестационарных процессов и сохраняя более полную информацию об особенностях ЭЭГ.

Существует еще множество примеров использования вейвлет-анализа в различных областях. Мы предполагаем, использовать его для исследования электроэнцефалограмм с помощью временных рядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.В. Габова, В.В. Гнездицкий, А.В. Карабанов Использование вейвлет - преобразований для анализа электрической активности мозга при болезни Паркинсона, 2012.
2. К.Г. Половенко Применение метода вейвлет – анализа для определения аномальных участков на электроэнцефалограмме, 2010.

APPLICATION OF WAVELET ANALYSIS IN ELECTROENCEPHALOGRAPHY

Antipov O. I., Samoylova D.V.

(Volga State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract: The application of the wavelet - analysis method for studying brain activity is studied in the article. The possibilities and features of the wavelet transform are described. Its advantages are studied. The results of studies of the use of wavelet transform in electroencephalography are considered. As a result, it was found that wavelet analysis is an effective method for revealing various pathologies of the brain.

УДК 621.37; 612.82

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА В КАРДИОЛОГИИ

Антипов О.И., Самойлова Д.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Термин вейвлет (дословный перевод «маленькая волна») был введен относительно недавно в середине 80-х годов и положил начало так называемому вейвлет-анализу. За короткое время вейвлет-анализ стал популярным в решении самых различных задач. Вейвлет - анализ разработан для решения задач, которые невозможно решить с помощью традиционного преобразования Фурье. В настоящее время вейвлет - анализ находит все более широкое применение в обработке временных рядов, кодирование и декодирование больших объемов информации, обработке данных дистанционного зондирования, распознавании образов и речи, задачах связи, теоретической физике и математике, сжатии изображений и мультимедиа-информации.

Основой вейвлет - анализа служит вейвлет-преобразование. Вейвлет-преобразование одномерного сигнала состоит в его разложении по базису, сконструированному из единственной функции - вейвлета, существенной особенностью которой является ее локализация во времени. Общий принцип его построения состоит в использовании двупараметрического преобразования базисной функции - масштабное преобразование времени и преобразование сдвига. Любой из применяемых вейвлетов порождает полную ортонормированную систему функций, построенную с использованием масштабного преобразования и сдвигов. Первое преобразование аналогично преобразованию Фурье, но примененного к локализованной функции. Преобразование сдвига по своему действию аналогично подвижным временным окнам, используемым в спектральном анализе. Именно за счет изменения масштабов вейвлеты способны выявить различия в характеристиках на разных шкалах, а путем сдвига проанализировать свойства сигнала в разных точках на всем изучаемом интервале.

В статье [1] А.С. Пигаль и П.Б. Пигаль представили применение вейвлет-анализа в исследовании

вариабельности сердечного ритма. В данной работе были обработаны кардиоинтервалограммы с уже известным медицинским диагнозом и в результате применения вейвлетов было выявлено, что у 85% рассмотренных кардиосигналов схожая картина разложения. В результате сравнения с кардиосигналами здорового человека было выяснено, что картины разложения отличаются от полученных результатов. Данный анализ кардиоритмограмм пациентов представляется перспективным для прогноза течения заболевания как дополнительный элемент диагностики. Е.О. Иванько и Н.Г. Иванушкина в статье [2] провели анализ электрокардиограмм для выявления поздних потенциалов предсердий с помощью вейвлет-преобразования. В исследованиях был применен вейвлет-анализ моделей электрокардиосигналов с отсутствием и наличием низкоамплитудных высокочастотных составляющих ЭКГ – поздних потенциалов предсердий. В результате были выявлены компоненты сигналов, указывающие на наличие или отсутствие микропотенциалов в исследуемом временном диапазоне.

Существует еще множество примеров использования вейвлет-анализа в различных областях. Мы предполагаем, использовать его для исследования электрокардиограмм с помощью временных рядов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.С. Пигаль, П.Б. Пигаль Применение вейвлет – преобразования для анализа кардиосигналов: предварительные результаты исследования, 2014.
2. Е.О. Иванько, Н.Г. Иванушкина Многоуровневый анализ электрокардиограмм для выявления поздних потенциалов предсердий, 2009.

APPLICATION OF WAVELET ANALYSIS IN CARDIOLOGY

Antipov O. I., Samoylova D.V.

(Volga State University of Telecommunications and Informatics)

Abstract: The article offers a method of wavelet analysis for diagnosis of age-related changes in cardiac activity. The features of the cardiac signal are studied. The possibilities and features of the wavelet transform are described. Its advantages are studied. The results of studies of the use of the wavelet transform for the electrocardiogram are considered. As a result, it was found that the proposed method is an effective method of diagnosing heart diseases.

УДК 621.396.67:628.518

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОНИТОРИНГ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

Вороной А.А., Каликинский А.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Электромагнитный мониторинг занимает одно из ведущих мест по своей экологической и производственной значимости среди других факторов окружающей среды.

В организме человека ЭМП наводят внутренние поля и электрические токи. Степень оказываемого воздействия зависит от: размера, формы тела; электрических и магнитных свойств тканей; самого ЭМП. В постоянном электрическом поле возникают ионные токи, которые протекают только по межклеточной жидкости. В переменных ЭМП проводимость мембран клеток возрастает. С ростом частоты – увеличивается поглощенная энергия.

Характеристики ЭМП определяются источниками.

Линии электропередач и открытые распределительные устройства, коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, а также все высоковольтные установки промышленной частоты генерируют электрические поля промышленной частоты.

Источниками магнитных полей промышленной частоты являются электроустановки и токопроводы.

Радиостанции, антенны, генераторы сверхвысоких частот, установки индукционного нагрева, радары, измерительные и контролируемые устройства – это примеры источников электромагнитных излучений радиочастот.

В широком диапазоне частот излучают ЭМП – персональные электронно-вычислительные машины и видеодисплейные терминалы на электронно-лучевых трубках.

ELECTROMAGNETIC MONITORING IN MAJOR CITIES

Voronoy A.A., Kalikinskiy A.V.

*(«Povolzhskiy State University of Telecommunications &
Informatics»)*

The evaluated controlled parameters of the electromagnetic environment, taking into account characteristics of complexes of

technical means. Provides General guidelines and measures for the protection from electromagnetic radiation.

УДК 621.35:615.47

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА
ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ, РЕАЛИЗОВАННЫЙ В
СРЕДЕ MATHEMATICA**

Мачихин В.А., Антипов О.И.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В современном мире науки, широкую популярность приобретает разработка интерфейсов «мозг-компьютер», или, как их еще можно назвать – нейроинтерфейсов. Такие интерфейсы разрабатываются как в медицинских целях, так и в целях создания искусственного интеллекта. Есть несколько путей реализации подобных интерфейсов. Некоторые основываются на обработке сигналов, возникающих при сокращении мышечной ткани. Преимуществом таких интерфейсов является относительная простота реализации программно-аппаратных комплексов к ним.

Более сложным путем реализации интерфейсов «мозг компьютер» является анализ вызванных потенциалов головного мозга и разработка под него программно-аппаратного комплекса. Вызванным потенциалом головного мозга называется электрическая реакция мозга на внешний раздражитель или на выполнение умственной когнитивной задачи. Примером подобных экспериментов служат опыты в лаборатории Самарского государственного медицинского университета.

В классическом варианте вызванный потенциал выделяется следующим образом: подается предупреждающий сигнал – щелчок или световая вспышка. На щелчок возникает ответ - негативная волна амплитудой примерно 20 мкВ [1, 2].

Сложность реализации подобных исследований и разработка под них соответствующего оборудования состоит в том, что мозг одновременно обрабатывает тысячи сигналов, каждый из которых служит помехой для другого сигнала. Тем не менее в работах, проведенных под руководством Антипова О. И. подобное было выполнено. Была разработан программный комплекс,

позволяющий получить довольно четкую картину вызванного потенциала. Ниже (рис. 1) показан среднестатистический суммарный сигнал, полученный суммированием похожих по форме сигналов на электроэнцефалограмме, полученных с помощью 128-канального электроэнцефалографа.

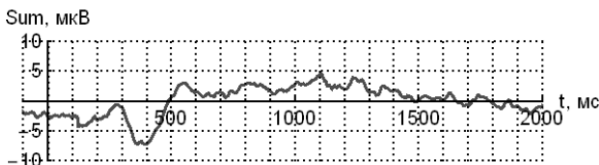


Рис. 1. Суммарный сигнал

Данная программа, как полагают разработчики, поможет реализовать в итоге интерфейс «мозг-компьютер»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

10. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). /Руководство для врачей / Л.Р. Зенков. 6-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2013. – 356 с.

11. Гнездицкий В.В. Обратная задача ЭЭГ и клиническая энцефалография (картирование и локализация источников электрической активности мозга)./Учебное пособие/ – М.:МЕДпресс-информ, 2004. – 624с

THE SOFTWARE PACKAGE FOR THE ANALYSIS OF EVOKED POTENTIALS, IMPLEMENTED IN THE MATHEMATICA ENVIRONMENT

V.A. Machihin, O.I. Antipov

*(Povolgskiy State University of Telecommunications and
Informatics)*

Describes the program of its own development for the analysis of electroencephalograms. The analysis of evoked potentials of the brain is considered.

УДК 543.424.2, 681.7.068

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЗОНДЫ
РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ
ИССЛЕДОВАНИЙ ТКАНЕЙ И БИОЖИДКОСТЕЙ**

***Артемьев Д.Н., Братченко И.А., Христофорова Ю.А.,
Лыкина А.А., Шамина Л.А.***

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

Данная работа посвящена использованию волоконно-оптических зондов для оптической спектроскопии в мутных средах, таких как ткань и биологическая жидкость. Проанализированы основные конструкции зондов для отражающей, поляризационно-отражающей, флуоресцентной и рамановской спектроскопии. Рассмотрены основные принципы проектирования зондов. Получены экспериментальные результаты по регистрации рамановского сигнала и автофлуоресценции от тканей кожи, легкого и их онкопатологий, и от биологических жидкостей (кровь, плазма, урина).

Волоконные зонды нашли широкое применение в биомедицинской оптической спектроскопии [1]. Проанализированы основные конструктивные элементы, принципы и характеристики системы. Рассмотрены критические параметры оптического волокна, влияющие на доставку и регистрацию излучения: упаковка волокон, поверхность торца волокна, выбор материала волокна. Представлены примеры зондов, используемых в биомедицинских исследованиях: зонд для обратного рассеяния (диффузное рассеяние, поляризационная рефлектометрия), флуоресцентный зонд, рамановский зонд.

Диагностика с помощью рамановской спектроскопии привлекает большое внимание из-за возможности неинвазивного анализа *in situ* живых организмов. Использование волоконных зондов для оптических биопсий удобно как для пациента, так и для системы здравоохранения, поскольку оно предотвращает ненужную резекцию ткани. Широкое применение рамановская спектроскопия нашла в диагностике онкологических заболеваний [2]. Использование оптических волокон улучшает позиционирование и обеспечивает удобство сбора излучения по сравнению с распространением луча в свободном пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

6. Utzinger, U., Richards-Kortum, R. R. Fiber optic probes for biomedical optical spectroscopy // Journal of Biomedical Optics, 8(1), 2003. – 121.
7. Zakharov, V. P., Bratchenko, I. A., Artemyev, D. N., Myakinin, O. O., Kornilin, D. V., Kozlov, S. V., & Moryatov, A. A. Comparative analysis of combined spectral and optical tomography methods for detection of skin and lung cancers // Journal of Biomedical Optics, 20(2), 2015. – 025003.

THE FIBEROPTIC RAMAN PROBES SPECTROSCOPY FOR TISSUES AND BIOLOGICAL FLUIDS RESEARCH

**Artemyev D.N., Bratchenko I.A., Khristoforova Yu.A.,
Lykina A.A., Shamina L.A.**

(“Samara University”)

This work is devoted to the use of fiber-optic probes for optical spectroscopy in turbid media, such as tissue and biological fluids. The basic designs of probes for reflectance, polarized reflectance, fluorescence, and Raman spectroscopy are analyzed. The basic principles of probe design are considered. Experimental results of Raman signal and autofluorescence registration from skin, lung, their lesions, and biological fluids (blood, plasma, urine) are obtained.

УДК 53.043

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МОДУЛИРОВАННОГО ВЧ СИГНАЛА В НЧ АКУСТИЧЕСКИЙ

Железняк И.Л., Клецко Д.А., Копыркин А.А.

*(ВУНЦ ВВС «ВВА», Южно-Уральский государственный
университет (НИУ))*

Механизм в принципе отличный от рассмотренного в работе [1]. Здесь же рассматриваем преобразование в среде спектра для АМ или АИМ сигнала [2].

В общем случае предположим, что ВАХ среды представима нелинейной функцией $I=f(U)$, которая аппроксимируется в некоторой окрестности точки U_0 полиномом Тейлора:

$$I = f(U_0) + a_1(U - U_0) + a_2(U - U_0)^2 + \dots + a_n(U - U_0)^m, \quad (1)$$

где m – степень приближения.

Спектральные составляющие определяются соотношением комбинаторики:

$$\begin{bmatrix} nf_1 + kf_2 \\ |kf_2 - nf_1| \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где Z – натуральные числа ($Z < m$).

Если частоты f_c – несущего сигнала, а f_s – модулирующего сигнала, то f_s и спектральные составляющие при АМ определяется как $|k(f_c - f_s) - nf_c|$ при $k = n$ – это компоненты спектра, непосредственно связанные с модулирующим сигналом. При $k = n = 1$ – в спектре компонент появляется именно f_s .

Низкочастотный спектр из данных эксперимента находится дискретным преобразованием Фурье. Отметим, что амплитуды первых нечётных гармоник могут превышать амплитуду частоты f_s .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клецко Д.А., Тамбовцев В.И., Шевяков И.А. Радиозвук: воздействие модулированного сигнала на термоупругую ткань (Опубликовано в Материалах конференции).

2. Кыдырбаева Д.А., Тамбовцев Д.К., Баранов В.К. Механизм воздействия модулированного ВЧ сигнала на неидеальный диэлектрик. Радиозвук/ Вестник ЮУрГУ: Компьютерные технологии, Управление, Радиоэлектроника. 2016, Том 16, №2. С. 68-72.

CONVERTING A MODULATED RF SIGNAL TO AN LF ACOUSTIC

Zheleznyak I.L., Kletsko D.A., Kopyrkin A.A.

(VUNTS VVS "VVA"; South Ural State University (national research university))

The paper considers the conversion a modulated high-frequency radio signal into a low-frequency acoustic signal.

УДК 54.003

**РАДИОЗВУК: УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ
МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА НА
ТЕРМОУПРУГУЮ ТКАНЬ**

Тамбовцев В.И., Шевяков И.А., Клецко Д.А.

(Южно-Уральский государственный университет (НИУ))

Работа относится к разделам электромагнитной совместимости и радиоэкологии. Рассматривается термоупругий механизм возбуждения в тканях акустических колебаний при поглощении модулированных радиоволн. В 1956 году было замечено, что люди, оказавшиеся в зоне действия радиолокатора, ощущали звуковые галлюцинации [1].

При воздействии на человека сверхвысокочастотным радиоизлучением большой интенсивности с амплитудно-импульсной манипуляцией возникали звуки, которые ощущались как бы от источника звука, расположенного за тыльной частью головы. Порог чувствительности при воздействии радиоимпульса: 80 мВт/см², что соответствует при геометрическом сечении головы 250 см² мощности до 20 Вт. Это на 2 порядка больше воздействия от мобильного телефона [2]. Дж. Лин предложил термоэластическую концепцию радиозвука [3]. При облучении человека в результате поглощения электромагнитной энергии тканями головы происходит быстрое расширение тканей в результате термоупругого удара возбуждаются акустические колебания.

В работе рассматривается одномерная модель развития звука на глубине скин-слоя при поглощении радиоволны физиологически пассивным веществом - плацебо. Амплитудно-импульсная манипуляция с большой скважностью позволяет получить величину вектора Умова в скин-слое. Показано, что коэффициент преобразования определяется отношением значений векторов Умова и Пойнтинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Frey Allan. Auditory system response to radio frequency energy. AerospaceMed. 1961: 32. PP. 1140–1142.
2. Кыдырбаева (Клецко) Д.А., Тамбовцев Д.К., Баранов В.К. Механизм воздействия модулированного высокочастотного сигнала на неидеальный диэлектрик. Радиозвук/ Вестник ЮУрГУ:

Компьютерные технологии, Управление, Радиотехника. 2016, Том 16, №2. С. 68-72.

3. Lin J. C. Theoretical Analysis of Microwave-Generated Auditory Effects in Animals and Man//Biological Effects of Electromagnetic Waves. Selected Papers of the USNC/URSI Annual Meeting//Boulder, CO 1975. V. 1. P. 36—47.

**RADIO SOUND: IMPACT OF MODULATED SIGNAL ON
THERMOELASTIC TISSUE**

V.I. Tambovtsev, I.A. Shevyakov, D. Kletsko

(South Ural State University (national research university))

In this work, irradiation of a person with microwave radiation is considered when seeing as a result of absorption of electromagnetic energy in the form of a thermoelastic shock, acoustic vibrations are excited. The paper considers a one-dimensional model of sound development at the depth of the skin layer when a radio wave is absorbed by a physiologically passive substance.

СЕКЦИЯ 8. ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ СВЯЗИ И РАДИОФОТОНИКА

Сопредседатели: Бурдин В.А. д.т.н. (Самара);
Морозов О.Г. д.т.н. (Казань);
Раевский А.С. д.ф.-м.н. (Нижний Новгород);
Султанов А.Х. д.т.н. (Уфа)

УДК 535 + 621.373

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО МАЛОМОДОВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ С СОХРАНЕНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Бурдин В.А., Бурдин А.В.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В работе представлены результаты моделирования распространения оптического импульса в волоконном световоде с сохранением поляризации в маломодовом режиме. Моделировали условия эксперимента, подробно описанного в работах [1-2]. Это позволило сопоставить результаты моделирования и экспериментальных исследований. Процесс распространения оптического импульса в волоконном световоде описывали системой связанных нелинейных уравнений Шредингера с учетом дисперсии высшего порядка и комбинационного рассеяния Рамана [3-5]. Для решения данной системы уравнений использовали метод расщепления по физическим процессам совместно с оригинальным алгоритмом учета комбинационного рассеяния Рамана. Пример импульсного отклика, полученного в результате моделирования приведен на рис. 1.

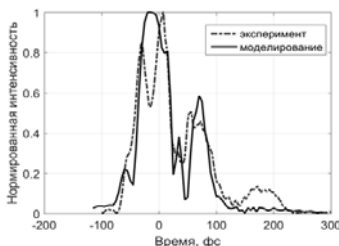


Рис. 1. Пример результатов моделирования импульсного отклика на выходе волоконного световода с сохранением поляризации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nakamura S., Takasawa N., Koyamada Y. Comparison between finite-difference time-domain calculation with all parameters of Sellmeier's fitting equation and experimental results for slightly chirped 12 fs laser pulse propagation in silica fiber //IEEE Journal of Lightwave Technology 23 (2), 2005. - p. 855 - 863.
2. Duarte F. J., Nakamura S. et al. Coherence and Ultrashort Pulse Laser Emission// InTech, 2010. - 698p.
3. Сисакян И.Н., Шварцбург А.В. Нелинейная динамика пикосекундных импульсов в волоконно-оптических световодах// Квантовая электроника 11 (9), 1984. - с.1703 – 1721.
4. Широков С.М. Приближенные параметрические модели динамики самовозбуждения импульсов в оптических средах с модовой дисперсией// Компьютерная оптика 14-15(2), 1995. – с.117– 124.
5. Agrawal G. P. Application of nonlinear fiber optics// Academic press, 2001. – 458 p.

SIMULATION RESULTS OF THE NONLINEAR FEW-MODE PROPAGATION OF THE OPTICAL PULSE IN POLARIZATION MAINTAINING FIBER

Burdin V. A., Bourdine A. V.

*(Povolzhskiy State University of Telecommunications
and Informatics)*

The paper presents the results of modeling the propagation of an optical pulse in an optical polarization maintaining fiber in the few-mode regime. The process of an optical pulse propagation in an optical fiber was described by a system of coupled nonlinear Schrödinger equations. The Fourier split-step method was used in conjunction with the novel algorithm for Raman scattering account. The simulation results were compared with the experimental data.

УДК 654.9+681.3

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ В СИСТЕМАХ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

Вороной А.А., Коршунов С.А.

*(Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

Предложена классификация волоконно-оптических датчиков на основе их конструктивных особенностей и принципов работы, для решения задач проектирования систем физической защиты.

Подходящие для использования в различных приложениях датчики должны обладать такими свойствами, как малый вес, небольшой размер, малая мощность, устойчивость к воздействиям внешней среды и электромагнитная помехозащищенность, хорошие показатели производительности и низкая стоимость.

Ввиду того, что оптическое волокно является диэлектрической средой, оно не излучает и не подвержено воздействию электромагнитных помех. Чем острее стоит проблема шума, тем привлекательнее становится оптика. Волоконно-оптические датчики не требуют: экранирования, специального заземления и могут быть проложены в достаточной близости к электрическим проводам. Они не требуют специальных фильтров в среде с высоким уровнем электромагнитных помех. Данные достоинства находят применение в построении систем физической защиты.

Известно, что развитие волоконно-оптических датчиков имеет особенности: стоимость – достаточно быстро падает, в то время как их производство и ассортимент – возрастают. Данные факторы сочетаются с тенденциями повышения надежности и улучшения качества компонентов. В результате – это приводит к стремительному продвижению новых разработок на рынок.

В настоящее время явно прослеживается тенденция к возведению умных, или интеллектуальных, зданий. Элементы умных систем обеспечивают комфортные условия для жителей и позволяют быстро реагировать на меняющуюся ситуацию с помощью систем физической защиты, в частности. Данные системы умного здания – пользуются большим спросом и присутствуют практически во всех сферах жизни человека: видеонаблюдение, контроль доступа, пожарная безопасность. Не

все они интегрированы друг с другом. Интеллектуальные технологии уже нашли масштабное применение в единых системах диспетчеризации, автоматизации и безопасности крупных объектов: рентабельность и удобство эксплуатации зданий неоднократно были отмечены инвесторами и застройщиками.

Основными направлениями развития волоконно-оптических датчиков в настоящее время являются интегрально-оптические технологии, которые позволят объединить электронные схемы обработки и микрооптические компоненты в одном кристалле или микромодуле. Это значительно снизит себестоимость волоконных датчиков и повысит их эксплуатационные характеристики.

FIBER-OPTIC SENSORS IN PHYSICAL PROTECTION SYSTEMS

Voronoy A.A., Korshunov S.A.

(Povolzhskiy State University of Telecommunications & Informatics)

The classification of fiber optic sensors based on their design features and principles to solve problems of designing of physical protection systems.

УДК 621.383

КОНТРОЛЬ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ МИКРОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО РАЗНЕСЕНИЯ ИЗМЕРЯЕМЫХ КОМПОНЕНТ

Сахабутдинов А.Ж., Морозов О.Г., Иванов А.А.

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

Метод аддитивного частотного разведения несущей. Предварительно несущая преобразуется в двухчастотное излучение, а затем модулируется измеряемой частотой. Таким образом, частотные составляющие микроволновых сигналов аддитивно разводятся в электрооптическом модуляторе Маха-Цендера на частотные составляющие несущей, разностная частота между которыми равна полуширине контура решетки на уровне 0,5. Использование указанных операций позволяет выполнять

измерения мгновенной частоты с высоким разрешением и точностью в области «низких» частот (0,4-4 ГГц) на максимально линейном участке склонов ВБР. Предложенный метод характеризуется более простой реализацией и температурной стабильностью по сравнению с методами [1, 2], использующими решетки Брэгга со специальными спектральными контурами: линейным треугольным или с фазовым π -сдвигом, которые также применяются для устранения малой крутизны преобразовании «частота-амплитуда» и монотонности спектрального контура решетки в указанной области частот.

Метод предварительного частотного расщепления.

Предварительно несущая преобразуется в двухчастотное излучение, а затем модулируется измеряемой частотой. В отличие от предыдущего метода частота расщепления составляет половину ширины контура усиления ВРМБ (от 10 до 60 МГц) и значительно меньше измеряемой частоты, что позволяет применять этот метод для всего измеряемого диапазона микроволн [3].

Разностная частота расщепления лежит в области минимальных шумов фотоприемника, уровень которых в 3-6 раз меньше, чем в области «постоянного тока».

Таким образом, относительная погрешность измерения центральной частоты может составить 10^{-4} и дополнительно определяется шириной линии излучения лазера, а также точностью поддержки частоты модуляции, накачки и расщепления.

Закключение. Таким образом, нами показано, что использование методов частотного разнесения может найти широкое применение для построения радиофотонных систем измерения мгновенной частоты микроволновых сигналов с повышенной точностью. Спектральное разрешение составляет единицы по сравнению с достигнутыми значениями в десятки и сотни МГц.

Работа выполнена при поддержке МОН РФ в рамках государственного задания на выполнение НИР в КНИТУ-КАИ на 2017-2019 годы (программа «Асимметрия», задание 8.6872.2017/8.9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Морозов О.Г. и др. Измерение мгновенной частоты с помощью двухчастотного зондирования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 4. С. 146-149..

2. Сахабутдинов А.Ж. и др. Процедура решения задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры // Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 8. С. 32-38.

3. Морозов О.Г. и др. Определение характеристик спектра усиления Мандельштама – Бриллюэна с помощью двухчастотного зондирующего излучения // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15. № 3. С. 95-100.

**MONITORING OF MICROWAVE SIGNALS INSTANT FREQUENCY
BASED ON FREQUENCY DIFFERENTIATION OF MEASURABLE
COMPONENTS**

Sakhabutdinov A.Zh., Morozov OG, Ivanov A.A.

*(Kazan National Research Technical University
n.a. A.N. Tupolev-KAI)*

The use of frequency diversity methods can find wide application for the construction of radio-photon systems for measuring the instantaneous frequency of microwave signals with increased accuracy. The spectral resolution is unity in comparison with the attained values of tens and hundreds of MHz.

УДК 321.636

**СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ КОАКСИАЛЬНЫХ
КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ**
***Макаров И.А., Насыбуллин А.Р., Сарварова Л.М., Тяжелова
А.А., Морозов О.Г.***

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

В сенсорной микроволновой области для минимизации размеров конструкции и существенного увеличения добротности резонансного контура до 500 созданы коаксиальные кольцевые резонаторы (ККР) с неоднородностями и со спиральной формой.

На рис. 1 представлен микроволновый спиральный ККР (а), свернутый из коаксиальной брэгговской решетки КБР (б), расположенной в горизонтальном положении.

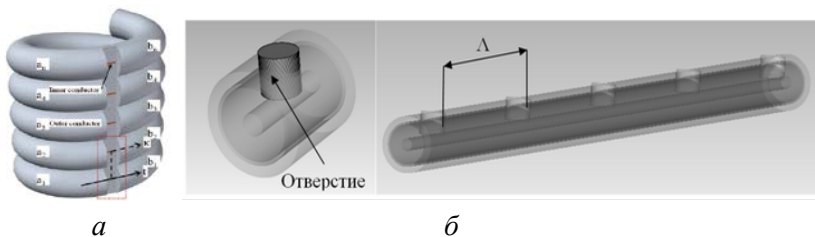


Рис. 1. Микроволновый спиральный КР (а), свернутый из коаксиальной брэгговской решетки (б)

Значительное увеличение добротности достигнуто при использовании двухслотового кольцевого свернутого резонатора (рис. 2).

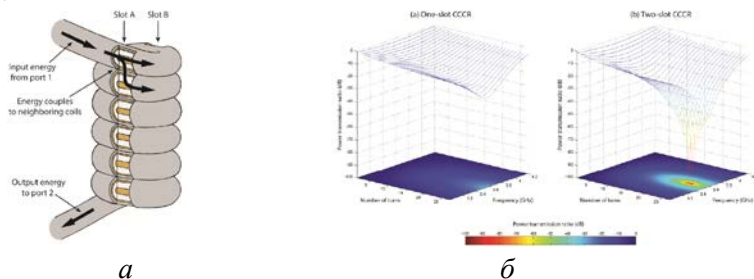


Рис. 2. Двухслотовый резонатор (а) и выигрыш в добротности (б)

На рис.1,б представлена базовая модель КБР. Помимо данной структуры возможны модификации форм неоднородностей, позволяющие управлять характером ее частотных свойств, например, изготовлены и исследованы КБР с диаметрально расположенными отверстиями (близко к рис.2,а) и с расположением отверстий под углом 120° (рис.3), у которых увеличена добротность.

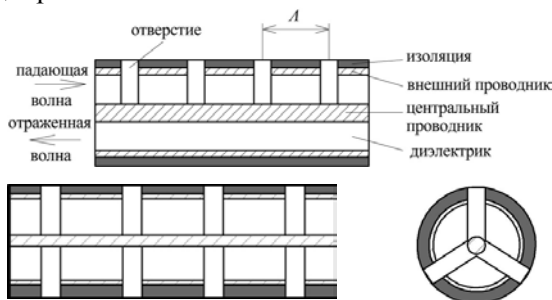


Рис. 3 – Исходные КБР для свертывания в ККР

У такой конструкции ККР появляются новые свойства, они способны измерять не только деформации и температуры, но и диэлектрическую проницаемость веществ, расположенных внутри цилиндра, с дополнительно увеличенной добротностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров И.А. и др. Коаксиальные кольцевые структуры с неоднородностями как датчики структурного мониторинга // XIV Международная научная конференция «Оптические технологии в телекоммуникациях» OTT-2016. –2016. –С. 104-105.

SENSORS BASED ON COAXIAL RING STRUCTURES WITHIN HOMOGENEITY

Makarov I.A., Nasybullin A.R.,

Sarvarova L.M., Tyazhlova A.A., Morozov O.G.

(Kazan National Research Technical University - KAI)

Construction of coaxial ring resonators with new properties are discussed. They are able to measure not only deformations and temperatures, but also dielectric permittivity of substances located inside the cylinder, with an additional increased Q-factor.

СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Гаврилов П.В., Насыбуллин А.Р., Сарварова Л.М.,

Тяжелова А.А., Морозов О.Г.

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

В работе рассмотрены симметричные кольцевые сплит-резонаторы (СКСР), построенные на основе трансфера оптических технологий волоконных решеток Брэгга с фазовым π -сдвигом в микроволновую область [1]. В этом случае в кольцо замыкается не однородный участок оптического волокна или волновода, а участок с введенной в него неоднородностью показателя преломления. Также выполнен и микроволновый резонатор СКСР с неоднородностями по кольцу (рис. 1). Создание нарушения периодичности в СКСР в виде изменения длины центральной неоднородности и уменьшения периода вдвое приводит к появлению «окна прозрачности» в «запрещенной зоне» СКСР (4

ГГц). При этом частотное положение и форма узкого резонанса определяется длинами и электрофизическими параметрами структуры, формирующими нарушение периодичности.

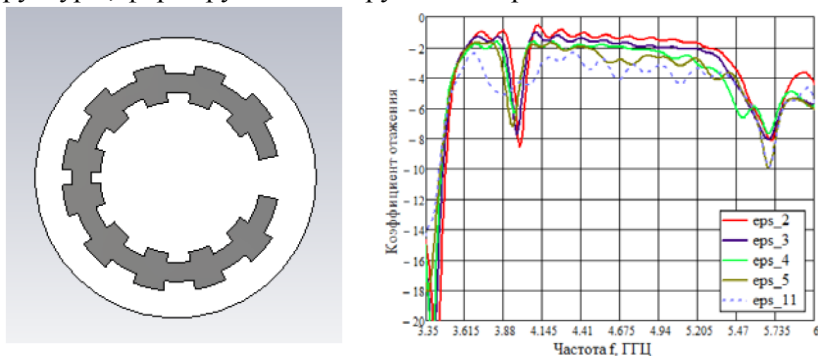


Рис. 1. Полосковый СКСР кольцевого типа с фазовым сдвигом (а), коэффициент отражения при разных диэлектрических потерях (б)

Ниже представлены характеристики коэффициента отражения измеренных материалов (рис.2).

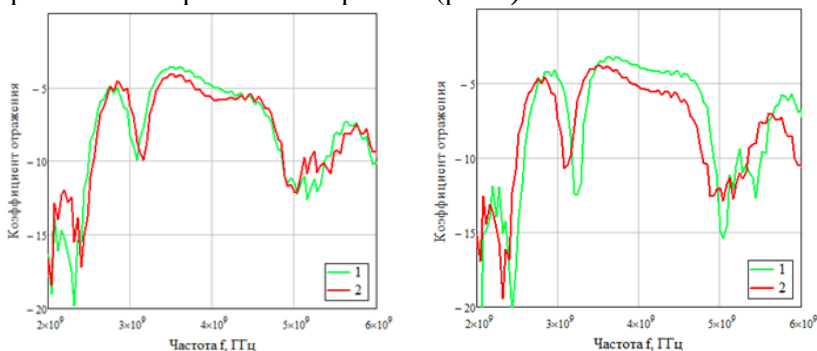


Рис. 2. Экспериментальные характеристики измерения фанеры, где 1 –фанера с 3 % содержания влаги, 2 – фанера с 6 % содержания влаги (а), измерения штукатурки, где 1 – штукатурка цементная, 2 – штукатурка цементная с 10% содержания шунгита (б)

Как можно наблюдать на графиках, при измерении диэлектрических параметров характеристика коэффициента отражения претерпевает изменение амплитуды узкого резонанса и происходит смещение относительно оси частот. Таким образом, с помощью разработанных структур можно отслеживать изменения состояния параметров диэлектрических материалов и сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов П.В., Морозов О.Г., Насыбуллин А.Р., Долгова Е.П. Микрорешетчатые кольцевые структуры с неоднородностями как датчики биоматериалов // Оптические технологии // XIV Международная научная конференция «Оптические технологии в телекоммуникациях» ОТТ-2016. –2016. –С. 102-103.

**SENSORS BASED ON MICROSTRIP
RING STRUCTURES WITH INHOMOGENEITY**

***Gavrilov P.V., Nasybullin A.R.,
Sarvarova L.M., Tyazhelova A.A., Morozov O.G.***

(Kazan National Research Technical University - KAI)

With the help of the developed ring structures, it is possible to track changes in the state of the parameters of dielectric materials and media: reflection coefficient undergoes a change in the amplitude of the narrow resonance and displacement occurs relative to the frequency.

СЕКЦИЯ 9. УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Сопредседатели: Дмитриков В.Ф. д.т.н. (Санкт-Петербург);

Евдокимов Ю.К. д.т.н. (Казань);

Лукин А.В. д.т.н. (Москва)

УДК 621.314

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ПЕРВИЧНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

***Дмитриев Б.Ф., Галушин С.Я., Воршевский П.А.,
Веселов Д.И.***

*(Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет, Крыловский
государственный научный центр)*

Современные суда и корабли содержат сложные технические комплексы, в которых широко используются электроэнергетические и управляющие технические средства.

Наиболее важной технической системой является энергетическая система корабля (судна), она является многофункциональной, поскольку выполняет несколько функций: генерирование, распределение, передачу и потребление электроэнергии.

Судовые и электроэнергетические системы имеют свои особенности и существенно отличаются от наземных электроэнергетических систем. Основными характерными чертами судовых и корабельных электроэнергетических систем являются:

- соизмеримость мощностей генераторов и потребителей электроэнергии;
- большое количество потребителей, различающихся по роду тока, напряжения, мощности;
- нелинейность многих видов нагрузки;
- частые динамические изменения нагрузки;
- высокие требования по надёжности.

Питание и управление гребного электродвигателя с винторулевой колонкой осуществляется через полупроводниковый преобразователь частоты (ПЧ), который значительно влияет на

качество электрической энергии, искажая в ряде случаев форму потребляемого тока и напряжения на шинах электроэнергетической системы.

Наиболее перспективной возможностью обеспечения энергосбережения и повышения экономичности использования электрической энергии в полупроводниковых преобразователях является повышение качества энергопотребления за счёт использования топологий многоуровневого преобразования, связанных с новыми стратегиями управления (например, релейно-векторного) при реализации силовых схем полупроводниковых преобразователей с учётом современной элементной базы.

При этом становится возможным активное формирование потребляемых такими преобразователями сетевых токов и режимов энергопотребления из питающей сети.

Анализ показал, что на уменьшение коэффициента мощности влияют следующие факторы:

- несинусоидальность потребляемых токов и приложенных напряжений, обусловленных нелинейной нагрузкой;
- несинусоидальность потребляемого тока, обусловленная наличием в системе сглаживающего фильтра.

Возросшие требования к степени электромагнитной совместимости преобразователей с питающей сетью потребовали новых технических решений для преобразователей с приданием им свойств активной коррекции коэффициента мощности. Многоуровневый принцип преобразования параметров электрической энергии позволяет осуществить практически синусоидальное потребление тока из питающей сети, синфазное с напряжением сети во всем диапазоне регулирования выходного напряжения.

Результаты компьютерного и математического моделирования с использованием пакетов MatLabSimulinki Mathcad позволяют сделать следующие выводы:

1. С ростом числа уровней становится возможным уменьшить потери мощности и снизить частоту коммутации, а также существенно улучшить гармонический состав выходного напряжения преобразователя.

2. Использование прямого микропроцессорного управления позволяет перейти к формированию требуемых выходных характеристик многоуровневых преобразователей в зависимости от режимов работы потребителей. Получены аналитические выражения,

которые являются удобными алгоритмами для реализации широтно-импульсной модуляции с различными законами руправления.

3. Применение полностью управляемых ключей обеспечивает двухсторонний обмен энергией между питающей сетью и нагрузкой, возможность рекуперации энергии в сеть при двигательной нагрузке.

4. Для сравнения эффективности использования различных топологий силовой части многоуровневых преобразователей необходимо ввести следующие критерии сравнения:

- качество выходной и потребляемой энергии;
- возможность управления ключами с учетом схмотехнической реализации.

**THE ENERGY INDICATORS OF THE MULTILEVEL
TRANSVERSORS IN THE DIFFERENT TYPES OF PRIMARY
SOURCES**

Dmitriev B.F., Galushin S.Y., Vorshevsky P.A, Veselov D.I.

*(Saint-Petersburg State Marine Technical University,
Krylov State Research Centre)*

УДК 621.314

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

***Дмитриев Б.Ф., Галушин С.Я. Калинин Н.М., Веселов
Д.И.***

*(Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет, Крыловский государственный
научный центр)*

Разработаны математические модели для определения спектрального состава выходного напряжения и входного тока реверсивного многоуровневого преобразователя с использованием коммутационных функций $F_k(t)$, рядов Фурье и функций Бесселя.

Показано, что результаты математического моделирования выходного напряжения реверсивного многоуровневого преобразователя в пакете Mathcad при различных индексах

модуляции m , частоте управляющего сигнала f_y и частоте коммутации f_k совпадают с результатами схемотехнического моделирования в пакете MatLab.

Спектральные характеристики (THD) выходного напряжения, выходного и входного токов многоуровневого преобразователя при питании от переменного (постоянного) тока исследуются в зависимости от различных индексов модуляции m , частоты управляющего сигнала f_y , частоты коммутации f_k при управлении с синусоидальной широтно-импульсной модуляцией для активно-индуктивной нагрузки.

Из анализа гармонического состава выходного напряжения (тока) и входного тока следует, что с уменьшением значения управляющего сигнала коэффициент гармоник (THD) увеличивается. Из результатов исследования видно, что многоуровневые преобразователи существенно улучшают качество выходного напряжения (тока) во всем диапазоне регулирования по сравнению с одноуровневыми преобразователями. Количество уровней определяется требуемыми параметрами качества выходной энергии, мощностью автономной системы электроэнергетики.

Анализ гармонического состава выходного напряжения и входного тока многоуровневых преобразователей для различных способов формирования и регулирования выходного напряжения, при различном числе коммутаций и различном характере нагрузке позволяет выбрать соответствующий способ регулирования и число коммутаций для повышения входных (коэффициента мощности) и выходных (коэффициента пульсаций) показателей, а также для улучшения качества входного тока и выходного напряжения.

Основное назначение многоуровневых полупроводниковых преобразователей (МПП) состоит в получении напряжения на выходе преобразователя превышающего максимальное напряжение на его полупроводниковом ключе. Необходимость применения МПП возникает в мощном тяговом электроприводе для транспортных систем наземного, надводного и подводного назначения и в электроэнергетических системах при транспортировке и преобразовании электрической энергии.

В настоящем докладе сравнение перечисленных МПП производится на основе расчета спектральных характеристик и определения коэффициента гармоник выходного напряжения. Базовой схемой для исследования и сравнения выбран трехуровневый однофазный инвертор напряжения.

**THE INVESTIGATION OF THE FREQUENCY
CHARACTERISTICS OF THE MULTILEVEL CONVERTERS**

Dmitriev B.F., Galushin S.Y., Kalinin N.M., Veselov D.I.

(Saint-Petersburg State Marine Technical University

Krylov State Research Centre)

УДК 621.314

**АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР ПОДАВЛЕНИЯ
НЕССИМЕТРИЧНЫХ ПОМЕХ**

Дмитриков В.Ф., Алексеев М.А., Шушпанов Д.В.

(Санкт-Петербургский государственный университет

телекоммуникаций

им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

Традиционно проблему подавления электромагнитных помех (ЭМП) по сети питания решают, используя пассивные фильтры [1]. Как правило, тяжелее подавить именно синфазную составляющую ЭМП, что приводит к росту габаритов синфазного дросселя (СД) (т.к. величина Y -конденсаторов ограничена токами утечки) при использовании чисто пассивного фильтра [2]. Перспективным решением задачи уменьшения габаритов фильтра, при сохранении заданного ослабления, или увеличении ослабления при заданных габаритах является применение активного фильтра ЭМП.

Существуют различные структурные схемы различных типов активных ЭМП фильтров по способу измерения и подавления помехи [3, 4]. Структурная схема исследуемого макета приведена на рис. 6.4.

Емкости C_{Y1} , C_{Y2} , C_X и дроссель L_{CD} – образуют пассивный однозвенный фильтр подавления ЭМП. Измеряемые цепи развязаны конденсаторами $C_{ИЗМ1}$ и $C_{ИЗМ2}$ номиналом 0,25 мкФ (для токов меньше 25 А). Резисторы $R_{ИЗМ1}$ и $R_{ИЗМ2}$ – тестовые

подгружающие резисторы номиналом 50 Ом. Синфазная помеха выделяется через конденсаторы C1 и C2 и поступает на вход инвертирующего усилителя на ОУ. Коэффициент усиления задается отношением резисторов R1 и R2, и как было сказано выше, равен 1 для наилучшего подавления сигнала помехи. Инвертированный усиленный сигнал помехи вносится через дополнительную обмотку СД (с количеством витков равным числу витков СД), но с противоположным направлением намотки.

Данный активный фильтр дает существенной ослабление синфазной помехи на низких частотах (до 15 дБ на частоте 70 кГц, 10 дБ на частоте 150 кГц), как следствие, это позволяет уменьшить габариты активного фильтра по сравнению с пассивным при той же величине ослабления помехи.

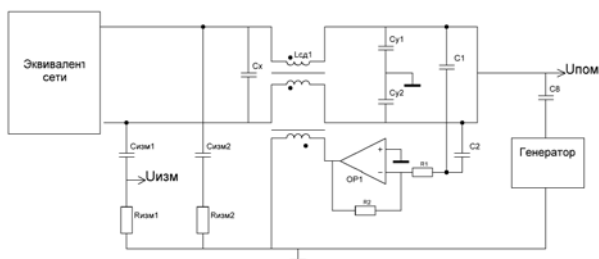


Рис. 1. Структурная схема исследуемого макета активного ЭМП фильтра

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. Вып. 42. С. 23 - 36.

2. Дмитриков В.Ф., Фрид Л.Е., Шушпанов Д.В., Кушнерев Д.Н. Сетевой фильтр радиопомех с устройством компенсации токов утечки // Всероссийская научно-техническая конференция «Электропитание-2013». Сборник трудов. Часть I: Самара, 2013. С. 78 - 86.

3. Kuk-Hee Lee, Byeong-Geuk Kang, Yongoh Choi, Se-Kyo Chung, Jae-Sun Won "Design and Implementation of an Active EMI Filter for Common-Mode Noise Reduction" // Journal of Power Electronics, Vol. 16, No. 3, May 2016, pp. 1236-1243

4. Wenjie Chen, Xu Yang, Zhaoan Wang "An Active EMI Filtering Technique for Improving Passive Filter Low-Frequency

Performance” // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol. 48, No. 1, February 2006, pp. 172- 177.

ACTIVE FILTER FOR COMMON-MODE NOISE
Dmitrikov V. F., Alekseev M. A., Shushpanov D. V.
(“The Bonch-Bruевич Saint – Petersburg
State University of Telecommunications”)

The mockup of active EMI filter for common-mode noise is considered. The using of that active EMI filter lets to decrease filter dimensions.

УДК 621.314

**АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР,
ОГРАНИЧИВАЮЩИЙ ПУСКОВОЙ ТОК**
**Дмитриков В.Ф., Алексеев М.А., Антонец Н.В.,
Шушпанов Д.В.**
(ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)

Одной из важных задач по обеспечению надежности функционирования источника питания и всего электронного устройства, признана необходимость защиты источника от импульсных помех и перенапряжений, которые могут присутствовать в первичной цепи и вывести элементы источника и запитываемую им функциональную аппаратуру из строя. Под первичной сетью питания понимается как промышленная однофазная или трехфазная сеть, где по ГОСТу допускается присутствие импульсов микросекундной длительности амплитудой до 1 кВ, так и бортовая или другая шина питания 24, 28, 48 В, где могут возникать выбросы напряжения длительностью несколько миллисекунд.

Для защиты источника питания, а именно вместе с ним и питаемой им аппаратуры от помех и бросков напряжения в сети используются различные технические решения: металло-оксидные варисторы, полупроводниковые ограничители напряжения, проходные транзисторы (активные фильтры), пассивные фильтры.

Схема активного фильтра состоит из 2-х частей – модуля, отвечающего за процесс включения, подавление ИКП и

формирование команд на включение нагрузки (DC-DC преобразователя), и пассивного фильтра, предназначенного для подавления радиопомех.

Структурная схема первой части входного активного фильтра представлена на рис.1. Активная часть фильтра выполняется на полевом транзисторе, включенном в положительный провод в режиме истокового повторителя. В состав фильтра входят – схема включения устройства, цепь плавного нарастания напряжения – резистор R1 и конденсатор C1, схема ограничения выходного напряжения схема контроля времени превышения входным напряжением максимально допустимого уровня, схема контроля минимального напряжения и процесса включения и источник питания собственных нужд. Последний подключается к выходу фильтра, что гарантирует отсутствие перенапряжений по цепи его питания и, следовательно, повышение надёжности устройства.

Принцип действия такого фильтра основан на ограничении напряжения на его выходе с помощью полевого транзистора, включенного в режиме истокового повторителя при поддержании на его затворе напряжения не выше максимально допустимого значения для выбранной модификации.

Были разработаны макеты входных активных фильтров (на разные напряжения и токи), которые показали целесообразность и эффективность использования данного подхода – использование проходного транзистора (рис. 1).

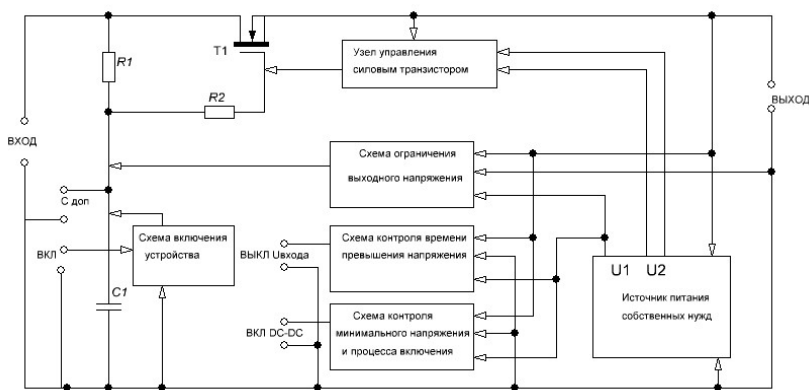


Рис. 1. Структурная схема входного активного фильтра для сети постоянного тока

**ACTIVE FILTER FOR
STARTING CURRENT LIMITATION**
**Dmitrikov V. F., Alekseev M. A., Antonevich N.V.,
Shushpanov D. V.**

*(“The Bonch-Bruevich Saint – Petersburg
State University of Telecommunications”)*

The mockups of active filters for starting current limitation are considered. They showed the efficiency of chosen approach.

УДК 621.314

**ИНВЕРТОР ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ,
РАБОТАЮЩИЙ ОТ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ
ПИТАНИЯ**

Дмитриков В.Ф., Антонец Н.В., Шушпанов Д.В.
*(ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича)*

Инверторы напряжения, широко используемые в устройствах гарантированного или бесперебойного питания, работают как на линейную, так и нелинейную нагрузки. В качестве последних чаще всего используются неуправляемые выпрямители, которые потребляют ток несинусоидальной формы. Форма и спектральный состав выходного напряжения инвертора при его работе на выпрямитель будут отличаться от формы и спектрального состава выходного напряжения инвертора при работе на линейную нагрузку из-за влияния несинусоидальности входных токов выпрямителя на выходное напряжение АИН.

Т.к. инвертор напряжения строится по схеме преобразователя напряжения понижающего типа, то входное напряжение инвертора должно быть больше амплитудного значения выходного напряжения (311 В). Т.е. входное напряжение инвертора должно быть порядка 320–350 В или выше. На практике высоковольтного постоянного напряжения в свободном доступе нет. Поэтому необходимо либо низковольтное напряжение преобразовать в высоковольтное [1], либо использовать варианты построения инверторов, работающих от низкого напряжения [2].

Были проедены исследования и был собран макет инвертора напряжения, работающего от постоянного напряжения 40–60 В. Данный инвертор состоит из повышающего преобразователя, преобразующего 40–60 В в 350 В, и собственно самого инвертора, преобразующего постоянное напряжение 350 В в переменное 220 В, 50 Гц. Мощность инвертора 1500 ВА. Инвертор может работать как на линейную (с коэффициентом гармоник $\leq 3\%$), так и на нелинейную нагрузку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шушпанов Д.В. Высокоэффективные импульсные преобразователи напряжения с ШИМ и распределенные системы электропитания на их основе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». СПб. 2005.

2. Шамсиев Б.Г. Исследование и разработка высокоэффективных импульсных источников бесперебойного питания с синусоидальным выходным напряжением для аппаратуры связи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Специальность: 05.12.17 – «Радиотехнические и телевизионные системы и устройства». СПб. 1998.

A 50 Hz INVERTOR FOR LOW-VOLTAGE INPUT LINE

Dmitrikov V. F., Antonevich N. V., Shushpanov D. V.

*(“The Bonch-Bruевич Saint – Petersburg
State University of Telecommunications”)*

The mockup of 50 Hz inverter is considered. That inverter is built for low-voltage input line 40-60 V. Its power is 1500 VA and it works with linear and nonlinear loads.

УДК 621. 314

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ИНВЕРТОРОВ

Гейтенко Е.Н.

*(Самара, Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В системах электропитания оборудования телекоммуникаций используются установки гарантированного и бесперебойного электропитания, которые содержат в своем составе инверторы и источники бесперебойного питания переменного тока.

Параллельное соединение инверторов, образующих преобразователь напряжения, позволяет осуществить их резервирование и повысить надежность систем бесперебойного питания, а также добиться нового качества – масштабирования, которое позволяет путем подбора числа параллельных устройств получить необходимую мощность системы и степень ее резервирования[1].

Преобразователи на основе параллельных инверторов можно разделить на низкочастотные и высокочастотные [2; 3]. В низкочастотных устройствах функции выравнивания выходных токов инверторов базируются на основе их интегральных оценок. В высокочастотных системах параллельных инверторов используется широтно-импульсная модуляция и практически мгновенное выравнивание выходных токов инверторов по форме и фазе.

В практическом плане наиболее распространены три основных типа систем управления преобразователей на основе параллельно соединенных инверторов [2; 3]:

1) Системы управления с использованием уровня статизма инверторов (низкочастотные);

2) Централизованные системы подчиненного управления (высокочастотные);

3) Демократические системы равнозначного управления инверторов (высокочастотные);

4) Круговые системы управления с выравниванием токов инверторов по цепочке (высокочастотные).

В докладе рассматриваются указанные выше системы и их разновидности, дается краткое описание и их сравнительная оценка. По результатам сравнительного анализа преобразователей предложены рекомендации по области их применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейтенко, А.Е. Моделирование и сравнительный анализ энергетических характеристик двухканального преобразователя при различных типах широтно – импульсной модуляции.[Текст]/А.Е. Гейтенко, Е.Н. Гейтенко, О.В. Осипов. // Естественные и технические науки. 2010 г., №6, М.: «Спутник+», - С. 437-443.
2. Гейтенко, А.Е. Исследование энергетических характеристик параллельных массивов бесперебойного питания при отклонениях параметров отдельных инверторов.[Текст]/А.Е. Гейтенко, Е.Н. Гейтенко, О.В. Осипов//Всерос.НТК «Электропитание – 2013» Сб. трудов. Самара, 2013 г. М., ООО Из-во Янус-К, с.3-4.
3. Luo, Shiguo A Classification and evaluation of paralleling methods for power Supply Modules/.ShiguoLuo, Z. Ye, R. Lin and Fred C. Lee.//Virginia Power Electronics Center, The Bradley Department of Electrical Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, VA24061-0111, USA.

CLASSIFICATION OF VOLTAGE TRANSMITTERS BASED ON PARALLEL UNITED INVERTERS

Geytenko E.N.

*(Povolzhsky State University of Telecommunications and
Informatics)*

The classification of voltage converters based on parallel connected inverters. Recommendations of application and design of converters are given.

УДК 621. 314

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО И ДЕМОКРАТИЧЕСКОГО ТИПОВ

Гейтенко А.Е., Осипов О.В.

*(Самара, Поволжский государственный университет
телекоммуникаций и информатики)*

В комплексах электропитания оборудования радиотехнических и телевизионных систем используются установки гарантированного и бесперебойного электропитания, которые содержат инверторы и источники бесперебойного питания переменного тока.

Параллельное соединение инверторов, образующих преобразователь напряжения, позволяет осуществить их резервирование и повысить надежность путем подбора числа параллельных устройств для получения необходимой выходной мощности системы и степени ее резервирования[1].

Для электропитания оборудования радиотехнических и телевизионных систем целесообразно применение преобразователей централизованного типа (с высокой перегрузочной способностью и несущей частотой модуляции), а также преобразователей демократического типа (с высокой несущей частотой и простотой их построения) [2; 3].

Для исследований динамических свойств преобразователей на основе параллельно соединенных широтно – импульсных инверторов предложены их линеаризованные модели [2]. Одновременно с целью более точных и широких исследований построены имитационные (дискретно-нелинейные) математические модели с высокой степенью детализации [1; 2; 3].

В докладе представлены результаты исследовании динамических свойств преобразователей, причин неравномерного распределения выходных токов инверторов и характеристики режимов работы преобразователей при отклонениях отдельных параметров инверторов. По результатам исследований сделаны выводы и сравнительный анализ преобразователей, а также предложены научно-технические рекомендации для их построения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гейтенко, А.Е. Моделирование и сравнительный анализ энергетических характеристик двухканального преобразователя

при различных типах широтно – импульсной модуляции.[Текст]/А.Е. Гейтенко, Е.Н. Гейтенко, О.В. Осипов. // Естественные и технические науки. 2010 г., №6, М.: «Спутник+», - С. 437-443.

2. Гейтенко, А.Е. Анализ динамических свойств системы параллельно соединенных источников бесперебойного питания. [Текст]/ А.Е. Гейтенко // Техника и технология. 2012. № 5. М.: «Спутник+», - С. 18-25.

3. Гейтенко, А.Е. Исследование энергетических характеристик параллельных массивов бесперебойного питания при отклонениях параметров отдельных инверторов [Текст]/А.Е. Гейтенко, Е.Н. Гейтенко, О.В. Осипов//Всерос.НТК «Электропитание – 2013» Сб.трудов. Самара, 2013 г. М., ООО Из-воЯнус-К, с.3-4.

MATHEMATICAL MODELS OF VOLTAGE TRANSFORMERS OF CENTRALIZED AND DEMOCRATIC TYPES

Geytenko E.N., Osipov O.W.

(Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics)
Mathematical models of systems of parallel inverters of centralized and democratic types are considered. The results of the research are given, recommendations for designing are given.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абдрахманова Г.И.*, 117
Абдульманов Ш.Р., 14
Аглиуллин А.Ф., 58
Акулинин Д.М., 76, 78, 79,
81, 83
Алексеев М.А., 279, 281
Андрюхин О.А., 239
Андрющенко Т.А., 119
Антипов О.И., 253, 255, 258
Антоневич Н.В., 281, 283
Арефьев А.С., 51
Артемьев Д.Н., 260
Астахов Е.И., 156
Афанасьев В.В., 137, 139,
143
Ахметгалиев Р.В., 32
Бадалов В.В., 70
Бадретдинов Р.А., 42
Белашов В.Ю., 7
Белашова Е.С., 7
Белов Ю.Г., 153
Бельских Н. В., 85
Богословский А.В., 38
Борисенков А.В., 28
Братченко И.А., 260
Бузов А.Л., 62
Бурдин А.В., 265
Бурдин В.А., 265
Бушуев Л.О., 237
Вазиев Т.О., 204, 206, 212
Васин А.А., 64
Веденькин Д.А., 72, 74, 76,
78, 79, 81, 83, 164, 166
Веселов Д.И., 275, 277
Воронков Г.С., 117
Вороной А.А., 257, 267
Воршиевский П.А., 275
Гаврилов П.В., 272
Гайнуллина Н.Р., 233, 237,
242
Галушин С.Я., 275, 277
Гатауллина И.А., 216
Гейтенко Е.Н., 285
Гейтенко А.Е., 287
Гиладов И.И., 133
Гимадиев Д.И., 76, 78, 79,
81, 83
Головенко А.О., 60
Головкина М.В., 239
Горячкин О.В., 28, 30
Данилаев М.П., 143, 247
Данилов И.Ю., 196
Дмитренко В.И., 28
Дмитриев Б.Ф., 275, 277
Дмитриков В.Ф., 279, 281,
283
Добдин С.Ю., 156
Долгополов В.Н., 28
Дорогов Н.В., 247
Евсеев Д.А., 11
Евтеев С.Г., 158
Егорова Ю.В., 88
Железняк И.Л., 261
Женгуров Б.Г., 28
Зайцев А.Д., 197, 210
Закиров М.Р., 242
Заринов Р.Ф., 36
Захарова О.Н., 57

- Иванов А.А.*, 268
Ивойлова М.М., 53, 55
Ильин А.Г., 119
Ильин Г.И., 14, 57, 119
Ильина О.В., 57
Ишкаев Т.М., 200, 202
Каликинский А.В., 257
Калинин Н.М., 277
Качушкин М.Н., 168, 170,
171, 173, 175, 176, 178,
180, 182, 183, 185, 187,
189, 190, 192
Кашин А.В., 53, 55
Киреева А.И., 19
Кирпичникова М.Ю., 151
Клецко Д.А., 261, 263
Клюев Д.С., 91, 93, 95
Ковин И.С., 60
Кожевников И.О., 243
Козлов В.А., 53, 55
Копылов Д.А., 70
Копыркин А.А., 261
Коришунов С.А., 91, 93, 95,
98, 111, 224, 228, 267
Косяк Е.Г., 147
Кузьменко А.А., 45, 47, 49
Ку克林 В.А., 247
Кунилов А.Л., 53, 55
Куприянов Д.А., 108
Курангышев А.В., 247
Курков И.Г., 28
Лаврушев В.Н., 128, 133
Логинов С.С., 139, 143
Ложкин Л.Д., 45, 47, 49
Лукин М.Ю., 43, 87
Лыкина А.А., 260
Любавский А.П., 40
Майоров А.Г., 100, 214
Макаров И.А., 270
Мальцев А.А., 242
Мальцев А.С., 111
Маннанова Э.Р., 231
Марданишин Э.Р., 137
Маршова А.М., 168, 170,
171, 173, 175, 176, 178,
180, 182, 183, 185, 187,
189, 190, 192
Маслов И.В., 30
Матвеевский П.О., 102
Мачихин В.А., 258
Мерданов М.К., 158, 163
Митин А.В., 243
Михайленко Д.А., 163
Михайлов А.И., 243
Мишин Д.В., 220
Можгинский В.Л., 251
Морозов Г.А., 216, 217
Морозов О.Г., 216, 268, 270,
272
Морозов С.В., 103, 105, 108
Москалева М.А., 18
Назин В.Ю., 70
Насыбуллин А.Р., 72, 74,
197, 200, 202, 204, 206,
208, 212, 270, 272
Неклюдов Е.В., 64
Немцева А.В., 147
Нестеров В.И., 66
Нефедьев И.А., 153
Нещерет А.М., 62, 70, 91
Никитов С.А., 158
Нуреев И.И., 58

Осинов О.В., 220, 224, 228,
287
Пихтелев Н.А., 153
Польский Ю.Е., 143
Пономарев Д.В., 163
Пономарёв Л.И., 64
Потапова О.В., 88, 128
Почепцов А.О., 224
Разиньков С.Н., 38, 40, 85
Разинькова О.Э., 38, 40
Рахматуллин Б.А., 233
Резепова Е.С., 228
Рогова Н.В., 220
Романов Ю.Е., 196
Руденок И.П., 19
Самойлова Д.В., 253, 255
Сарварова Л.М., 58, 270, 272
Сахабутдинов А.Ж., 58, 268
Свойкина В.А., 51
Седельников Ю.Е., 168, 170,
171, 173, 175, 176, 178,
180, 182, 183, 185, 187,
189, 190, 192, 194, 196, 210
Семенцов Д.И., 11
Скачков В.А., 128
Скворцов Н.В., 251
Скрипаль А.В., 156, 158, 163
Смирнов С.В., 217
Солдатов А.А., 97, 98, 214
Спиридонов С.В., 231
Стахова Н.Е., 217
Султанов А.Х., 32
Суханов Д.В., 28
Сухова Е.А., 224, 239
Табаков Д.П., 100, 102, 103,
105, 108, 109

Тамбовцев В.И., 22, 263
Телегин С.С., 67, 69
Тяжелова А.А., 58, 270, 272
Усанов Д.А., 156, 158, 163
Файзуллин Р.Р., 36
Фархутдинов Р.В., 204, 206,
208, 212
Фатыхов М.М., 36
Федоров А.В., 85
Филиппов С.Б., 111
Фролов А.П., 158
Хабибуллин Р.Р., 168, 170,
171, 173, 175, 176, 178,
180, 182, 183, 185, 187,
189, 190, 192
Халиков А.З., 210
Халилова А.А., 117
Хасанов Ф.Ф., 58
Хохлов Е.Н., 28
Христофорова Ю.А., 260
Черепашкина Д.В., 151
Чеховских Е.С., 51
Чони Ю.И., 120, 126
Шаабан М., 114, 194
Шамина Л.А., 260
Шаронов Д.Е., 164, 166
Шевяков И.А., 263
Шевяхов Н.С., 147
Шилов Н.С., 247
Шушпанов Д.В., 279, 281,
283
Юлушева А.И., 76, 78, 79, 81,
83
Юсупов Т.И., 197
Яковлев М.В., 109

ОГЛАВЛЕНИЕ

Секция 1. Общая теория волновых процессов	7
ГАМИЛЬТОНОВ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НЕОДНОМЕРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ВОЛНОВЫХ СТРУКТУР СОЛИТОННОГО ТИПА Белашов В.Ю., Белашова Е.С.	7
ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ОБЪЕМНЫЕ МОДЫ В ВОЛНОВОДНОЙ СТРУКТУРЕ «ГРАФЕН-ДИЭЛЕКТРИК-ГРАФЕН-ДИЭЛЕКТРИК-ГРАФЕН» Евсеев Д.А., Семенцов Д.И.	11
К ТЕОРИИ КВАЗИГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ Абдульманов Ш.Р., Ильин Г. И.	14
ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИФРАКЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА СИСТЕМЕ ТЕЛ И ЭКРАНОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ Москалева М.А.	18
О ПРЕОБРАЗОВАНИЯХ НАПРАВЛЯЕМЫХ МОД В КОМПОЗИЦИОННЫХ НАНОСТРУКТУРАХ С ГРАДИЕНТНЫМИ ТЕНЗОРАМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЕЙ Киреева А. И., Руденок И. П.	19
ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ. ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ГРАВИТАЦИИ Тамбовцев В.И.	22
Секция 2. Передача и обработка информации в радиотехнических системах	28
МОБИЛЬНЫЙ БИСТАТИЧЕСКИЙ РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС VHF-Р ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ Борисенков А.В., Горячкин О.В., Дмитренко В.И., Женгуров Б.Г., Долгополов В.Н., Курков И.Г., Суханов Д.В., Хохлов Е.Н.	28
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫСОТЫ РЕЛЬЕФА БИСТАТИЧЕСКИМ РСА Р-ДИАПАЗОНА ДЛЯ ДВУХ ВАРИАНТОВ СЪЁМКИ Горячкин О. В., Маслов И. В.	30
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМАСШТАБНЫХ И МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА РАДИОКАНАЛЕ «СПУТНИК – НАЗЕМНАЯ СТАНЦИЯ» Ахметгалиев Р.В., Султанов А.Х.	32
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ РАКЕ-ПРИЕМНИКА И ПОЛИГАУССОВА АЛГОРИТМА Зарипов Р.Ф., Фатыхов М.М., Файзуллин Р.Р.	36
МАРШРУТЫ ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОМОБИЛЬНЫХ ПЕЛАЕНГАТОРОВ ПРИ МЕСТООПРЕДЕЛЕНИИ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ Разиньков С. Н., Разинькова О. Э., Богословский А. В.	38

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ И БАЗОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ СО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫМИ СИГНАЛАМИ Разиньков С. Н., Разинькова О. Э., Любавский А. П.	40
ПРИНЦИП РАБОТЫ И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЦИФРОВОГО ГЕНЕРАТОРА СИНУСОИДАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ЕГО РАЗРАБОТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА. Бадретдинов Р. А.	42
ДИСПЕРСИЯ ПСЕВДОТРИАНГУЛЯЦИОННОЙ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ ИСТОЧНИКОВ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ Лукин М. Ю.	43
МЕТОД БОРЬБЫ С ЦВЕТОВЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ, ВЫЗВАННЫМИ ЗАСВЕТКОЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ЭКРАНОВ Ложкин Л.Д., Кузьменко А.А.	45
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ЦВЕТОВЫХ ПРОСТРАНСТВ МКО В ТЕЛЕВИДЕНИИ Ложкин Л.Д., Кузьменко А.А.	47
МЕТОД БОРЬБЫ С ЦВЕТОВЫМИ ИСКАЖЕНИЯМИ, ВЫЗВАННЫМИ РАЗЛИЧНЫМИ ЦВЕТОВЫМИ ОХВАТАМИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ЭКРАНОВ Ложкин Л.Д., Кузьменко А.А.	49
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА 2 ИЛИ–НЕ РЕЗИСТОРНО–ТРАНЗИСТОРНОЙ ЛОГИКИ Арефьев А. С., Свойкина В. А., Чеховских Е. С.	51
РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ДАТЧИК ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ НА ЗАДАННОЙ ДАЛЬНОСТИ Ивойлова М.М., Кашин А.В., Козлов В.А., Кунилов А.Л.	53
СПОСОБ СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ С ОБРАБОТКОЙ СИГНАЛА МЕТОДОМ БИЕНИЙ Ивойлова М.М., Кашин А.В., Козлов В.А., Кунилов А.Л.	55
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА Захарова О.Н., Ильина О.В., Ильин Г.И.	57
МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДИАМЕТРА ПУЛЬПОЭКСТРАКТОРОВ Хасанов Ф.Ф., Нуреев И.И., Аглиуллин А.Ф., Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Сахабутдинов А.Ж.	58
СРЕДСТВА МОБИЛЬНОЙ ГРАВИМЕТРИИ Головенко А.О., Ковин И.С.	60
Секция 3. Антенно-фидерные системы и распространение радиоволн	62
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАМАТЕРИАЛОВ В ПОДЗЕМНЫХ КВ- АНТЕННАХ Бузов А.Л., Нещерет А.М.	62

ДВУХПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ СПУТНИКОВОЙ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ Неклюдов Е.В., Пономарёв Л.И., Васин А.А.	64
К ВОПРОСУ ОБ АСИММЕТРИИ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ПРИЕМА ФАЗЫ СИГНАЛА НА ТРАССЕ ГАВАЙИ – ХАБАРОВСК Нестеров В.И.	66
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ ПОДВИЖНЫХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ В ПРОТЯЖЕННЫХ ЭКРАНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА МАРКОВСКИХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ Телегин С.С.	67
МОДЕЛИРОВАНИЕ КАНАЛОВ УТЕЧКИ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ПРОТЯЖЕННЫХ ЭКРАНИРОВАННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МОНТЕКАРЛО Телегин С.С.	69
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДА ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ПОЛЯ И МЕТОДА МОМЕНТОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР С КИРАЛЬНЫМИ СРЕДАМИ Бадалов В.В., Копылов Д.А., Назин В.Ю., Нещерет А.М.	70
МОДЕЛИРОВАНИЕ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК, СФОКУСИРОВАННЫХ В СРЕДЕ С ПОТЕРЯМИ Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р.	72
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК, СФОКУСИРОВАННЫХ В СРЕДЕ С ПОТЕРЯМИ Веденькин Д.А., Насыбуллин А.Р.	74
ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Веденькин Д.А.	76
ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 3. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Веденькин Д.А.	78
ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Веденькин Д.А.	79
ФОКУСИРОВКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ В ЗАМКНУТОМ ПРОСТРАНСТВЕ. ЧАСТЬ 1. МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Веденькин Д.А.	81
ПРИНЦИПЫ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В СВОБОДНОМ ПРОСТРАНСТВЕ Юлушева А.И., Акулинин Д.М., Гимадиев Д.И., Веденькин Д.А.	83
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕШЕТКИ И СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ОШИБКИ ПЕЛЕНГАТОРА ДИАПАЗОНА КОРОТКИХ ВОЛН Разиньков С. Н., Бельских Н. В., Федоров А. В.	85

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ РЕШЕТОК ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЩЕЛЕВЫХ ВИБРАТОРОВ НА ПОЛУПЛОСКОСТЯХ Лукин М. Ю.	87
НЕЭКВИДИСТАНТНЫЕ АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ, СФОКУСИРОВАННЫЕ В ОБЛАСТЬ БЛИЖНЕГО ИЗЛУЧАЕМОГО ПОЛЯ Потапова О.В., Егорова Ю.В.	88
ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН С КИРАЛЬНЫМИ ПОДЛОЖКАМИ Клюев Д.С., Коршунов С.А., Нещерет А.М.	91
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВЯЗАННЫХ ПЛОСКИХ ПОЛОСКОВЫХ ВИБРАТОРОВ Клюев Д.С., Коршунов С.А.	93
РАСЧЕТ ВХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛОСКОГО ПОЛОСКОВОГО ВИБРАТОРА Клюев Д.С., Коршунов С.А.	95
ВЛИЯНИЕ ЭКРАНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ГИРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАТОРА Солдатов А.А.	97
ВЛИЯНИЕ ТИПА ОБЪЕМНОГО РЕЗОНАТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ПОДМАГНИЧЕННОГО ГИРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАТОРА Солдатов А.А., Коршунов С.А.	98
О СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЯХ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА УРАВНЕНИЯ ПОГЛИНГТОНА Табакнов Д.П., Майоров А.Г.	100
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФРАКТАЛЬНОЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ВЛОЖЕННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ РАМОК Табакнов Д.П., Матвеевский П.О.	102
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШИРОКОПОЛОСНОГО ВИБРАТОРА С ТОРЦЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ Табакнов Д.П., Морозов С.В.	103
ПОЛНЫЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИБРАТОРА НАДЕНЕНКО Табакнов Д.П., Морозов С.В.	105
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С ТОНКОПРОВОЛОЧНЫМ РЕФЛЕКТОРОМ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ Табакнов Д.П., Морозов С.В., Куприянов Д.А.	108
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПРОВОЛОЧНОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ РАМОЧНОЙ АНТЕННЫ Табакнов Д.П., Яковлев М.В.	109

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СОГЛАСОВАНИЯ ДВУХЗАХОДНОЙ КОНИЧЕСКОЙ ЛОГОСПИРАЛЬНОЙ АНТЕННЫ СИСТЕМЫ ВИДЕОКОНТРОЛЯ РАЗГОННЫХ БЛОКОВ Филиппов С.Б., Мальцев А.С., Коршунов С.А.	111
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НЕРЕГУЛЯРНОСТЕЙ Шаабан М.	114
РАЗРАБОТКА МИКРОПОЛОСКОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ ПРОЕКТА «УМНЫЕ ДОРОГИ» Халилова А.А., Абдрахманова Г.И., Воронков Г.С.	117
ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ РЕАЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ Андрющенко Т.А., Ильин А.Г., Ильин Г.И.	119
О ЛОКАЛЬНОМ ФАЗОВОМ ЦЕНТРЕ АНТЕННЫ В ПОСЛЕДНЕЙ ИНСТАНЦИИ Чони Ю.И.	120
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ АНТЕННЫ ЛУЧЕЙ КРУПНОГАБАРИТНОЙ ГИБРИДНО-ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ Чони Ю.И.	126
ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ Лаврушев В.Н., Потапова О.В., Скачков В.А.	128
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ. Лаврушев В.Н., Гилязов И.И.	133
Секция 4. Фракталы и детерминированный хаос.....	137
НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЖЕКТОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ В СИСТЕМАХ СВЯЗИ С ФМ СИГНАЛАМИ И ХАОТИЧЕСКОЙ МАСКИРОВКОЙ Афанасьев В.В., Марданшин Э.Р.	137
ОБОБЩЕННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ПОЛИГАУССОВЫ МОДЕЛИ СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ ЛОРЕНЦА С ДИНАМИЧЕСКИМ ХАОСОМ Афанасьев В.В., Логинов С.С.	137
ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И ДИАГНОСТИКА РАДИОФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ Афанасьев В.В., Данилаев М.П., Логинов С.С., Польский Ю.Е.	137
ПЕРЕХОД К ДЕТЕРМИНИРОВАННОМУ ХАОСУВ КЛАССИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ «ГРАВИТАЦИОННАЯ МАШИНА» Немцева А.В., Косяк Е.Г., Шевяхов Н.С.	137
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАЦА С ЭГЭГ СИГНАЛАМ Черепашкина Д.В, Кирпичникова М.Ю.	1371

Секция 5. Устройства и системы СВЧ- и КВЧ-диапазонов и их приложение	153
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДНОГО РЕЗОНАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИСТОВЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ Белов Ю.Г., Нефедьев И.А., Пихтелев Н.А.	153
ЛАЗЕРНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЗОНДА БЛИЖНЕПОЛЕВОГО СВЧ МИКРОСКОПА Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Астахов Е.И., Добдин С.Ю.	156
СВЧ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Мерданов М.К., Евтеев С.Г., Фролов А.П.	158
ШИРОКОПОЛОСНАЯ СОГЛАСОВАННАЯ НАГРУЗКА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Мерданов М.К., Михайленко Д.А.	163
ОЦЕНКА СВОЙСТВ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ЧАСТЬ 1 Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е.	164
ОЦЕНКА СВОЙСТВ ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ЧАСТЬ 2 Веденькин Д.А., Шаронов Д.Е.	166
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 1. СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.	168
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 2. РЕЗОНАНСНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.	170
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.	171
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 4. МОДЕЛИ ВОЛНОВОДНЫХ ТРАКТОВ Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.	173
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕТЧАТЫХ МАТЕРИАЛОВ. ЧАСТЬ 5. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ Маршова А.М., Качушкин М.Н., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.	175
ПРИМЕНЕНИЕ ВОЛНОВОДНОГО СВЧ ТРОЙНИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н., Седельников Ю.Е.	176
АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ В СВЧ ДИАПАЗОНЕ РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н., Седельников Ю.Е.	178

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНОГО ТРОЙНИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ
МАТЕРИАЛОВ

Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н., Седельников Ю.Е.....180

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ В ДИАПАЗОНЕ МЕТРОВЫХ ВОЛН
РЕЗОНАНСНЫМ МЕТОДОМ

Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н., Седельников Ю.Е.....182

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ШЛЕЙФА КОАКСИАЛЬНОГО ТРОЙНИКА НА ТОЧНОСТЬ
ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ

Хабибуллин Р.Р., Маршова А.М., Качушкин М.Н., Седельников Ю.Е.....183

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНЕНИЕ КОАКСИАЛЬНЫХ РАЗЪЕМОВ
МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.....185

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ШТЫРЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ
КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА

Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.....187

РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СОЧЛЕНЕНИЯ: ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.....189

РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СОЧЛЕНЕНИЯ: ЧАСТЬ 2. НАСТРОЙКА МОДЕЛИ И
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.....190

РАЗРАБОТКА КОАКСИАЛЬНО-ВОЛНОВОДНОГО ПЕРЕХОДА, КАК ЭЛЕМЕНТА
ВРАЩАЮЩЕГОСЯ СОЧЛЕНЕНИЯ: ЧАСТЬ 3. ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА
ПЕРЕДАЧИ

Качушкин М.Н., Маршова А.М., Хабибуллин Р.Р., Седельников Ю.Е.....192

АНТЕННЫЕ РЕШЕТКИ ММВ НА ОСНОВЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА
С ИДЕНТИЧНЫМИ НЕРЕГУЛЯРНОСТЯМИ

Седельников Ю.Е., Шабан М.....194

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АНТЕННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДИАПАЗОНОВ

Данилов И.Ю., Романов Ю.Е., Седельников Ю.Е.....196

КОАКСИАЛЬНЫЙ ВОЛНОВОД С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ
КАК ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО КОНТРОЛЯ

Насыбуллин А.Р., Юсупов Т.И., Зайцев А.Д.197

ВЛИЯНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПОЛЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКУ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ
НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.200

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ
НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

Насыбуллин А.Р., Ишкаев Т.М.202

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ БРЭГГОВСКИЕ СВЧ СТРУКТУРЫ С ДВОЙНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТЬЮ	
Насыбуллин А.Р., Фархутдинов Р. В., Вазиев Т.О.....	204
БРЭГГОВСКИЕ СВЧ СТРУКТУРЫ С ЧИРПИРОВАНИЕМ И АППОДИЗАЦИЕЙ	
Насыбуллин А.Р., Фархутдинов Р. В., Вазиев Т.О.....	206
ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА КОАКСИАЛЬНОЙ БРЭГГОВСКОЙ СВЧ СТРУКТУРЫ	
Насыбуллин А.Р., Фархутдинов Р. В.....	208
РЕАЛИЗАЦИЯ КОНВЕЙЕРНОГО МЕТОДА ПЕРЕРАБОТКИ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШИРОКОПОЛОСНОЙ СФОКУСИРОВАННОЙ АПЕРТУРЫ	
Халиков А.З., Зайцев А.Д., Седельников Ю.Е.	210
МИКРОПОЛОСКОВАЯ СВЧ СТРУКТУРА С РЕЗОНАНСОМ ФАНО	
Насыбуллин А. Р., Вазиев Т. О., Фархутдинов Р. В.....	212
АНАЛИЗ ЦЕЛЕВОЙ ЛИНИИ С АКТИВНОЙ ПЛЕНКОЙ	
Солдатов А.А., Майоров А.Г.....	214
КАЗАНСКАЯ ШКОЛА МИКРОВОЛНОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ	
Морозов Г.А., Морозов О.Г., Гатауллина И.А.	216
ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ МАСЛА И УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ВЕЩЕСТВА.	
Смирнов С.В., Морозов Г.А., Стахова Н.Е.....	217
Секция 6. Мета- и наноструктуры	220
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНАРНЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ КИРАЛЬНЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАЛООТРАЖАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ	
Мишин Д.В., Осипов О.В., Рогова Н.В.	220
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНО- И МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАНАРНЫХ МЕТАСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТОНКОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СПИРАЛЬНОЙ ФОРМЫ	
Осипов О.В., Почепцов А.О., Сухова Е.А., Коршунов С.А.	224
ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОСЛОЙНЫХ ПЛАНАРНЫХ МЕТАСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ТОНКОПРОВОЛОЧНЫХ ПРОВОДЯЩИХ ДВУСВЯЗАННЫХ СПИРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	
Осипов О.В., Резепова Е.С., Коршунов С.А.	228
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНТЕЗА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ	
Маннанова Э. Р., Спиридонов С. В.	231
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНОУРОВНЯ	
Рахматуллин Б.А., Гайнуллина Н.Р.....	233

СОВРЕМЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ФОТОШАБЛОНОВ Гайнуллина Н. Р., Нургалиева А. Н.	235
ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИКОРРОЗИОННЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ АВТОТРАНСПОРТА Бушуев Л.О. и Гайнуллина Н.Р.	237
РАСЧЕТ СПЕКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕТЕРОСТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ НА ОСНОВЕ INGAAS Сухова Е.А., Головкина М.В., Андрюхин О.А.	239
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ СВЕТОДИОДА, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ Гайнуллина Н.Р., Мальцев А.А., Закиров М.Р.	242
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОГО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПЛАНАРНО-ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ МЕЗА- СТРУКТУРЫ ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕГО АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ Кожевников И.О., Михайлов А.И., Митин А.В.	243
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ В ПОЛИМЕРНЫХ СТЕКЛАХ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ТРЕБУЕМОЕ СВЕТОПРОПУСКАНИЕ Куклин В.А., Шилов Н.С., Дорогов Н.В., Данилаев М.П., Курангышев А.В.	247
Секция 7. Волновые процессы в биологии и медицине	251
МАГНИТОТЕРАПИЯ МЕДЛЕННОМЕНЯЮЩИМСЯ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ Можгинский В. Л., Скворцов Н. В.	251
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА В ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ Антипов О.И., Самойлова Д.В.	253
ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА В КАРДИОЛОГИИ Антипов О.И., Самойлова Д.В.	255
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОНИТОРИНГ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ Вороной А.А., Каликинский А.В.	257
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ВЫЗВАННЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ, РЕАЛИЗОВАННЫЙ В СРЕДЕ МАТНЕМАТИСА Мачихин В.А., Антипов О.И.	258
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЗОНДЫ РАМАНОВСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТКАНЕЙ И БИОЖИДКОСТЕЙ Артемьев Д.Н., Братченко И.А., Христофорова Ю.А., Лыкина А.А., Шамина Л.А.	260
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МОДУЛИРОВАННОГО ВЧ СИГНАЛА В НЧ АКУСТИЧЕСКИЙ Железняк И.Л., Клецко Д.А., Копыркин А.А.	261
РАДИОЗВУК: УДАРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА НА ТЕРМОУПРУГУЮ ТКАНЬ Тамбовцев В.И., Шевяков И.А., Клецко Д.	263

Секция 8. Оптические сети связи и радиопотоника	265
РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО МАЛОМОДОВОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ С СОХРАНЕНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИИ Бурдин В.А., Бурдин А.В.	265
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ В СИСТЕМАХ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ Вороной А.А., Коршунов С.А.	267
КОНТРОЛЬ МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ МИКРОВОЛНОВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО РАЗНЕСЕНИЯ ИЗМЕРЯЕМЫХ КОМПОНЕНТ Сахабудинов А.Ж., Морозов О.Г., Иванов А.А.	268
СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ КООКСИАЛЬНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ Макаров И.А., Насыбуллин А.Р., Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Морозов О.Г.	270
СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР С НЕОДНОРОДНОСТЯМИ Гаврилов П.В., Насыбуллин А.Р., Сарварова Л.М., Тяжелова А.А., Морозов О.Г.	272
Секция 9. Устройства и системы электропитания.....	275
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ПЕРВИЧНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ Дмитриев Б.Ф., Галушин С.Я., Воршевский П.А., Веселов Д.И.	275
ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОУРОВНЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ Дмитриев Б.Ф., Галушин С.Я., Калинин Н.М., Веселов Д.И.	277
АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР ПОДАВЛЕНИЯ НЕССИМЕТРИЧНЫХ ПОМЕХ Дмитриков В. Ф., Алексеев М. А., Шушпанов Д. В.	279
АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР, ОГРАНИЧИВАЮЩИЙ ПУСКОВОЙ ТОК Дмитриков В. Ф., Алексеев М. А., Антонец Н.В., Шушпанов Д. В.	281
ИНВЕРТОР ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ, РАБОТАЮЩИЙ ОТ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ Дмитриков В. Ф., Антонец Н. В., Шушпанов Д. В.	283
КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ИНВЕРТОРОВ Гейтенко Е.Н.	285
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО И ДЕМОКРАТИЧЕСКОГО ТИПОВ Гейтенко А.Е., Осипов О.В.	287
Авторский указатель	289

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

II НАУЧНЫЙ ФОРУМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ:
ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИИ
ТТТ-2017

ФИЗИКА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ
ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ
ФиТПВП-2017

XV МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Казань, 20 – 24 ноября 2017 г.

*Статьи воспроизводятся с оригиналов, представленных авторами,
и Издатель не несет ответственности за содержание статей.
Ответственный секретарь: Коробков А.А.*

Ответственный за выпуск В.Н. Милёхин

Подписано в печать 20.11.17.
Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 17,67. Тираж 200 экз. Заказ Б 78.

Издательство КНИТУ-КАИ
420111, Казань, К. Маркса, 10

ISBN 978-5-7579-2257-7 (отд.кн.)

