

Полищук Андрей Евгеньевич

**ШИРОКОПОЛОСНЫЕ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ КОНИЧЕСКИХ
СТРУКТУР**

Специальность: 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

A handwritten signature, likely of the author, is located in the lower left area of the page.

Москва, 2003 г.

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана на кафедре "Радиоэлектронные системы и устройства"

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Митрохин В.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Мещанов В.П.

кандидат технических наук
Друкаренко С.П.

Ведущая организация: Федеральный научно-производственный
центр "Воронежский научно-исследовательский институт связи", г. Воронеж

Защита состоится 22 октября 2003 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.11 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу:

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан 19 июня 2003 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор



Власов И.Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию антенных устройств, для работы с широкополосными сигналами.

В настоящее время интенсивно развивается область радиотехники, связанная с использованием широкополосных и сверхширокополосных сигналов. Использование подобных сигналов в радиотехнических системах позволяет повысить информационные возможности систем радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиотелеметрии, так как количество информации, которая передается в единицу времени, прямо пропорционально полосе частот сигнала; позволяет также обеспечить высокую помехозащищенность каналов связи; повысить точность при оценке взаимной ориентации движущихся объектов; обнаруживать объекты, находящиеся под поверхностью Земли или под водой, а также обеспечивать связь с глубоко погруженными объектами; повысить результативность дистанционного зондирования окружающей среды. Антенная система является неотъемлемой частью радиотехнических систем, позволяющих решать подобные задачи, поэтому разработка широкополосных антенн и методик их расчета, является весьма важной и актуальной научной задачей.

Цель работы. Провести теоретические и экспериментальные исследования широкополосных антенн, построенных на основе конических структур. В частности, исследовать собственные волны неоднородных волноводов со сферическими направляемыми волнами с точки зрения концепции критических сечений. Разработать методы анализа основных волновых и энергетических параметров неоднородных базовых структур, в том числе рассмотреть электромагнитное поле таких структур при произвольной временной зависимости. Решить задачу возбуждения биконической структуры и свободного пространства, представленного как сферический волновод, с помощью элементарного электрического диполя, в том числе размещенного в диэлектрическом шаре. Разработать инженерную методику расчета электродинамических характеристик биконической антенны при её возбуждении электрическим диполем и конструктивные решения, способствующие улучшению характеристик указанной широкополосной антенны.

Методы исследования. При исследовании неоднородных базовых электродинамических структур со сферическими направляемыми волнами (рис. 1) использовалась концепция критических сечений, заключающаяся в учете свойств переходного поля [*] в области критических сечений указанных структур, и сочетающаяся со строгим методом собственных функций

* Митрохин В.Н. Исследование переходных полей в неоднородных СВЧ-структурах с критическими сечениями // Радиотехника. - 1999. - № 4. - С. 86-91.

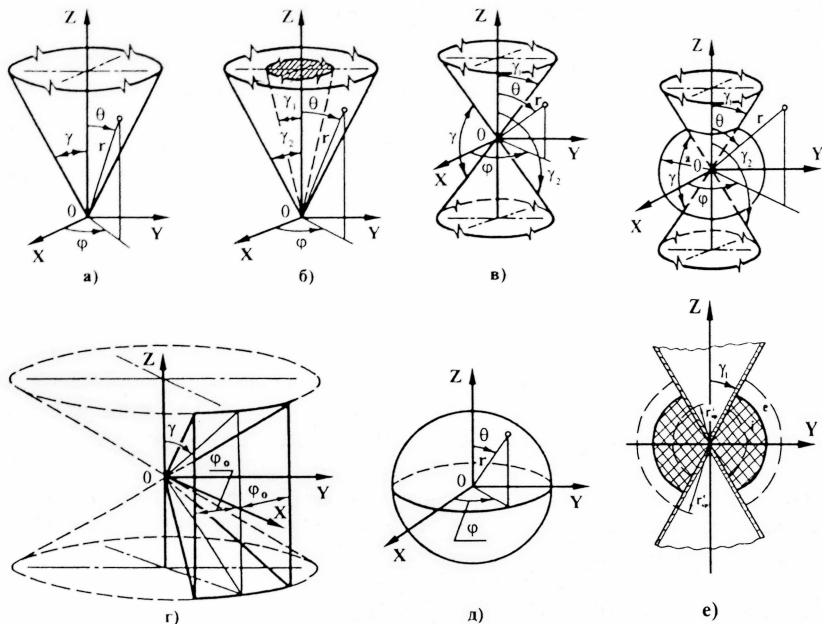


Рис. 1. Геометрия неоднородных волноводов со сферическими направляемыми волнами:

а – конический; б – коаксиальный конический; в – биконический; г – квазипирамидальный; д – сферический; е – слоистый биконический

прикладной электродинамики в сферическом базисе. Теория критических сечений позволяет представить излученное поле в виде ряда, по собственным сферическим волнам свободного пространства, что дает возможность заранее определить переходные области с особым поведением поля по особым точкам дифференциального уравнения радиальной зависимости.

Методика решения задачи возбуждения биконической электродинамической структуры электрическим диполем сочетает метод собственных функций и функций заданного разрыва с концепцией критических сечений.

Научная новизна.

1. Использована теория критических сечений, для разработки широкополосных антенн, построенных на основе конических структур.

2. Представлен электродинамический анализ, учитывающий поведение переходного электромагнитного поля в окрестности критических сечений

неоднородных электродинамических структур со сферическими направляемыми волнами, отрезки которых могут использоваться в качестве базовых элементов широкополосных антенн.

3. Проведен электродинамический анализ характеристик электромагнитного поля неоднородных структур, с учетом свойств переходных полей в окрестности собственных критических сечений при произвольной временной зависимости.

4. Разработана инженерная методика расчета биконической и дискоконусной антенн с диэлектрическим включением при их возбуждении электрическим диполем. Методика учитывает влияние ближайшего высшего типа волны на характеристики антенн.

Практическая ценность.

1. Разработаны методы анализа, применяемые для расчета основных волновых и энергетических параметров волнового процесса в неоднородных электродинамических структурах со сферическими направляемыми волнами.

2. Использование диэлектрического шара в конструкциях широкополосных антенн, на основе конических структур, позволило выбрать геометрические размеры антенны, оптимальные по критерию Чу-Харрингтона, и повысить электрическую прочность возбуждающего устройства антенны.

3. Показано, что диапазонные ограничения характеристик антенн и устройств, на основе конических электродинамических структур, в основном определяются высшими типами волн и особенностями поведения переходного поля в окрестности критических сечений высших типов волн.

4. Разработанная конструкция широкополосного биконического излучателя, позволяет минимизировать габариты и соответственно массу антенны, расширить её рабочий диапазон частот за счет улучшения согласования с питающей линией во всем используемом частотном диапазоне.

Численные результаты и их достоверность. Представленные в диссертации экспериментальные исследования неоднородных электродинамических структур, подтвердили результаты теоретического анализа рассматриваемых устройств и позволили отработать конструкцию широкополосной биконической антенны с диэлектрическим включением. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, следует из сравнения результатов исследований характеристик излучения рассматриваемых неоднородных структур, и полученных ранее известных классических соотношений.

Внедрение результатов диссертационной работы. Результаты работы используются в учебном процессе кафедры “Радиозлектронные системы и устройства” МГТУ им. Н.Э. Баумана и внедрены в ФГУП НИИ КП, в рамках

НИОКР по использованию технологий спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS для высокоточного определения местоположения мобильных объектов, что подтверждается соответствующими актами.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

1. Всероссийской научно-практической конференции с международным участием “Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов”, Красноярск, 1999 г.

2. VI Международной научно-технической конференции “Электродинамика и техника СВЧ и КВЧ”, Самара, 1999 г.

3. X Международной школе-семинаре “Электродинамика и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот”, Фрязино, 2002 г.

Материалы диссертации изложены в научно-технических отчетах по НИР:

1. Отчет по проекту И (А0105-1)/2001 о деятельности совместной научно-учебной лаборатории “Широкополосные и сверхширокополосные антенны, генераторы, экранирующие и поглощающие устройства и материалы”/ СУНЛ МГТУ – ИОФ РАН. Руководители работ Н.А. Бей, В.И. Пустовой. Исполнители Митрохин В.Н., Слукин Г.П., Полищук А.Е. и др., Инв. № РЛМ 01–01/03. – М., 2001. – 43 с.

2. Отчет о научно-исследовательской работе “Разработка малогабаритных сверхширокополосных антенн” (НИР “Диапазон”) / МГТУ – ФГУП “ЦНИРТИ”. Руководители работ Н.А. Бей, А.Н. Шулунов. Исполнители Митрохин В.Н., Полищук А.Е. и др., – М., 2001. – 65 с.

В Федеральном институте промышленной собственности зарегистрирована заявка на выдачу патента на изобретение:

Заявка от 04.12.2002. Биконическая антенна / В.Н. Митрохин, А.Е. Полищук, И.Б. Федоров.

Публикации. По теме диссертации опубликованы работы [1–9].

Структура и объём диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, и списка литературы. Объем работы составляет 173 страницы машинописного текста, иллюстрированного 26 рисунками, список литературы насчитывает 145 наименований.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований собственных сферических волн конического, коаксиального конического, биконического, квазипирамидального и сферического волноводов с учетом поведения переходного поля в окрестности собственных критических сечений.

2. Результаты исследований особенностей волнового процесса в частично заполненном диэлектриком биконическом волноводе с учетом поведения поля в переходных областях.

3. Результаты исследований характеристик электромагнитного поля неоднородных волноводов со сферическими направляемыми волнами при произвольной временной зависимости.

4. Инженерная методика расчета электродинамических характеристик биконической антенны при её возбуждении электрическим диполем, размещенным в диэлектрическом шаре.

5. Представление конструкции и характеристик биконической антенны с диэлектрическим включением для работы с широкополосными сигналами.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность темы исследований, рассмотрены области практического применения антенн, созданных на базе неоднородных электродинамических структур. Сформулирована цель работы, в аннотированном виде изложены основные результаты работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту. Указаны акты о внедрении результатов диссертационной работы, конференции, на которых обсуждалась работа, и публикации в печати. Приведен краткий обзор содержания глав диссертационной работы.

Первая глава диссертационной работы посвящена обзору методов исследования решений электродинамических задач возбуждения, распространения и рассеяния электромагнитных волн. Проведен анализ методов решения задач возбуждения и рассеяния электромагнитных волн при использовании узкополосных сигналов (монохроматический анализ), методов решения электродинамических задач при использовании широкополосных сигналов, методов решения электродинамических задач в которых учтены свойства переходных полей. Также рассмотрено влияние свойств переходных полей на характеристики широкополосных излучающих устройств, построенных на основе конических структур.

Проведенный анализ методов решения монохроматических и нестационарных электродинамических задач показал, что временная структура излученного электромагнитного поля зависит от положения исследуемого объекта. На объектах конечных размеров возможно выделение локальных центров излучения, положение которых определяется геометрией объекта.

Указанные особенности нестационарного излучения и рассеяния сигналов необходимо учитывать при проектировании антенной системы и функциональных устройств волноводного тракта радиотехнических устройств.

Строгие методы прикладной электродинамики оказываются бессильными в представлении решения в переходных областях (в которой осуществляется переход от квазистатического состояния поля к волновому), поскольку здесь ряды расходятся, а интегральные представления оказываются

разрывными из-за особенностей в вырожденных критических точках фазы подынтегрального выражения. Методы низкочастотной (квазистатической) области не позволяют в полной мере описать процессы в переходной области. Методы высокочастотной (квазиоптической) области охватывают более широкий класс задач, включающих переходные области, и ближе подходят к строгому решению, однако особенности поля на каустиках до сих пор не позволяют адекватно описать поля в переходных областях.

Проведенное исследование показало, что использование традиционных методов анализа нестационарных полей приводит к погрешностям, из-за отсутствия исследования полей в переходных областях пространства, либо некорректного расчета самих переходных полей, или особенностей, связанных с характером переходного поля, скрытых в интегральных представлениях полученных решений практически важных задач.

Вторая глава диссертации посвящена рассмотрению собственных сферических волн указанных выше неоднородных волноводов, в том числе слоистого биконического волновода (см. рис. 1) с учетом свойств переходного электромагнитного поля.

Исследование электромагнитного поля в неоднородных электродинамических структурах со сферическими направляемыми волнами проводим, используя сферическую систему координат r, θ, φ . Решение уравнений Максвелла в этом случае можно получить в виде суперпозиции электрических E_{mn} и магнитных H_{mn} типов волн, составляющие которых определяются через скалярные потенциальные функции U и V [*].

Потенциальные функции U и V удовлетворяют уравнению:

$$\left. \begin{matrix} U \\ V \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} A \\ B \end{matrix} \right. R_{\eta}(kr) \cdot L_{\eta}^{p_m}(\cos \theta) \frac{\cos}{\sin} p_m \varphi, \quad (1)$$

где A, B – постоянные коэффициенты, определяемые из условий возбуждения; $k = \omega \sqrt{\epsilon_a \mu_a} = 2\pi/\lambda$ – волновое число свободного пространства; ω – круговая частота; ϵ_a, μ_a – абсолютные значения диэлектрической и магнитной проницаемостей среды; $\eta = v_{mn}, \mu_{mn}$ – собственные значения E_{mn} и H_{mn} типов волн, определяемые из граничных условий по координате θ ; $p_m = m$ – целые числа для конического, коаксиального конического, биконического и сферического волноводов; $p_m = m\pi/2\varphi_0$ – собственные значения, определяемые из граничных условий для квазипирамидального волновода; $2\varphi_0$ – угол раствора в плоскости $\theta = \pi/2$; $L_{\eta}^{p_m}(\cos \theta)$ – линейная комбинация функций Лежандра $P_{\eta}^{p_m}(\cos \theta)$, $Q_{\eta}^{p_m}(\cos \theta)$ – первого и второго рода соответственно; $R_{\eta}(kr)$ – радиальная зависимость, удовлетворяющая дифференциальному уравнению второго порядка (сферическое уравнение Бесселя) вида:

$$\frac{d^2 R_\eta(kr)}{d(kr)^2} + \left[1 - \frac{\eta(\eta+1)}{(kr)^2} \right] R_\eta(kr) = 0. \quad (2)$$

Зависимость $f(kr) = [1 - \eta(\eta+1)/(kr)^2]$, графически представлена на рис. 2, где отмечены области квазистатического и волнового полей, а точки поворота уравнения (2) $(kr)_{кр} = \sqrt{\eta(\eta+1)}$ являются критическими сечениями рассматриваемых неоднородных волноводов. На критическом сечении происходит неравновесный фазовый переход от квазистатического состояния поля к волновому и наоборот.

Обеспечивая непрерывность потенциалов (1) на критических сечениях $kr = (kr)_{кр}$ радиальную зависимость как результат решения уравнения (2) представляем в виде:

$$R_\eta(kr) = kr \begin{cases} j_\eta[(kr)_{кр}] h_\eta^{(2)}(kr), & kr \geq (kr)_{кр}, \\ h_\eta^{(2)}[(kr)_{кр}] j_\eta(kr), & kr \leq (kr)_{кр}, \end{cases} \quad (3)$$

где $j_\eta(kr)$ – сферические функции Бесселя первого рода, $h_\eta^{(2)}(kr)$ – сфериче-

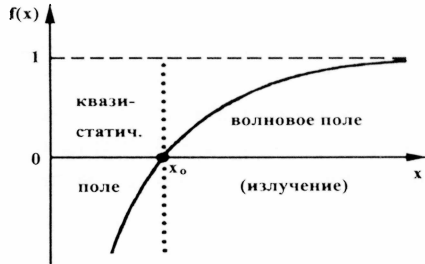


Рис. 2. Разграничение критическим сечением областей пространства внутри неоднородного волновода с различным характером поведения поля собственной волны

ские функции Ханкеля второго рода. Выражения для составляющих электромагнитного поля, после подстановки в них соотношений (1) приобретают конкретный вид.

При известных выражениях для составляющих поля можно найти волновые характеристики каждой собственной сферической волны неоднородных волноводов: волновое сопротивление, постоянную распространения, фазовую скорость и длину волны в системе.

Поперечные векторы напряженности электрического $\vec{E}_\perp^\eta$ и магнитного $\vec{H}_\perp^\eta$ полей собственного η -го типа волны удобно выразить с помощью ортонормированной векторной системы функций $\vec{e}_\eta(\theta, \varphi)$, $\vec{h}_\eta(\theta, \varphi)$ [*] на сфери-

* Фелсен Л., Маркувиц Н. Излучение и рассеяние волн: Пер. с англ. / Под ред. М.Л. Левина. – М.: Мир, 1978. – Т. 1-2.

ческом сечении рассматриваемых неоднородных волноводов:

$$\vec{E}_\perp = F_\eta(r) \vec{e}_\eta(\theta, \varphi), \quad \vec{H}_\perp = -Z_\eta^{-1} F_\eta(r) \vec{h}_\eta(\theta, \varphi), \quad (4)$$

где $F_\eta(r)$ – амплитудные функции (функции, зависящие от радиальной координаты), которые определяются соотношениями:

$$F_{v_{mn}}(r) = A_{v_{mn}} \frac{k}{r} R'_{v_{mn}}(kr), \quad F_{\mu_{mn}}(r) = i Z_0 B_{\mu_{mn}} \frac{k}{r} R_{\mu_{mn}}(kr). \quad (5)$$

Поперечные составляющие напряженностей электрического и магнитного полей представляются в виде разложений в ряды по полной ортонормированной системе векторных функций:

$$\begin{aligned} \vec{E}_\perp &= \sum_{m,n} F_{v_{mn}}(r) \vec{e}_{v_{mn}}(\theta, \varphi) + \sum_{m,n} F_{\mu_{mn}}(r) \vec{e}_{\mu_{mn}}(\theta, \varphi), \\ \vec{H}_\perp &= - \sum_{m,n} Z_{v_{mn}}^{-1} F_{v_{mn}}(r) \vec{h}_{v_{mn}}(\theta, \varphi) - \sum_{m,n} Z_{\mu_{mn}}^{-1} F_{\mu_{mn}}(r) \vec{h}_{\mu_{mn}}(\theta, \varphi). \end{aligned} \quad (6)$$

При этом амплитудные функции определяются соотношениями

$$\begin{aligned} F_{v_{mn}}(r) &= \int_{\Omega} \vec{E}_\perp \vec{e}_{v_{mn}}(\theta, \varphi) d\Omega, \quad F_{\mu_{mn}}(r) = \int_{\Omega} \vec{E}_\perp \vec{e}_{\mu_{mn}}(\theta, \varphi) d\Omega, \\ -Z_{v_{mn}}^{-1} F_{v_{mn}}(r) &= \int_{\Omega} \vec{H}_\perp \vec{h}_{v_{mn}}(\theta, \varphi) d\Omega, \quad -Z_{\mu_{mn}}^{-1} F_{\mu_{mn}}(r) = \int_{\Omega} \vec{H}_\perp \vec{h}_{\mu_{mn}}(\theta, \varphi) d\Omega, \end{aligned}$$

где $d\Omega = \sin \theta d\varphi d\theta$.

Используя выражения для составляющих электромагнитного поля и выражения (6) учитывая соотношения (1) и (3) нетрудно убедиться, что для каждого собственного E_{mn} типа волны вектор $\vec{H}_\perp$ на собственном критическом сечении непрерывен, а вектор $\vec{E}_\perp$ – претерпевает разрыв, определяющий эквивалентный магнитный поверхностный ток плотностью $\vec{I}_{v_{mn}}^*$, для каждого собственного H_{mn} типа волны разрыв на собственном критическом сечении претерпевает вектор $\vec{H}_\perp$, определяя эквивалентный электрический поверхностный ток плотностью $\vec{I}_{\mu_{mn}}^*$:

$$\vec{I}_{v_{mn}}^* = \frac{ik A_{v_{mn}}}{(kr)_{кр}^2} \vec{h}_{v_{mn}}(\theta, \varphi), \quad \vec{I}_{\mu_{mn}}^* = \frac{ik B_{\mu_{mn}}}{(kr)_{кр}^2} \vec{e}_{\mu_{mn}}(\theta, \varphi). \quad (7)$$

Следовательно, собственные волны неоднородных волноводов содержат вторичные источники в виде эквивалентных поверхностных токов.

Воспользовавшись теоремой Умова-Пойнтинга в комплексной форме, для каждого собственного типа волны получены выражения мощности, излучаемой с собственных критических сечений:

$$P_{\Sigma}^{v_{mn}} = \frac{1}{2} |A_{v_{mn}}|^2 \frac{k^2}{Z_0} j_{v_{mn}}^2 [(kr)_{кр}], \quad P_{\Sigma}^{\mu_{mn}} = \frac{1}{2} |B_{\mu_{mn}}|^2 k^2 Z_0 j_{\mu_{mn}}^2 [(kr)_{кр}]. \quad (8)$$

Определены выражения проводимости излучения $G_{\Sigma}^{\mu_{mn}}$ для каждого H_{mn} типа

волны, сопротивления излучения $R_{\Sigma}^{\text{вн}}$ для каждого E_{mn} типа волны, а также добротности при излучении каждого собственного типа волны.

Полученные выражения для энергетических характеристик электромагнитного поля собственных волн, учитывающие его поведение в переходной области, позволяют уточнить расчетные соотношения при конструировании излучающих систем и функциональных устройств на основе неоднородных волноводов со сферическими направляемыми волнами.

В случае биконического волновода, нагруженного слоями диэлектрика сферической формы (см. рис. 1), было показано, что при определенных соотношениях между размерами собственного критического сечения и слоем диэлектрика возможно резонансное увеличение сопротивления излучения собственного типа волны и соответственно, увеличение мощности, излучаемой с собственного критического сечения. Каждому собственному типу волны биконического частично заполненного диэлектриком волновода, соответствуют в общем случае два критических сечения: внутреннее $r_{\text{кр}}^i$ и внешнее $r_{\text{кр}}^e$ (см. рис. 1), определяемые соответственно $r_{\text{кр}}^i = \sqrt{\eta(\eta+1)}/k_i$, $r_{\text{кр}}^e = \sqrt{\eta(\eta+1)}/k_e$.

В зависимости от соотношения между радиусом диэлектрического заполнения и радиусами внутреннего и внешнего критических сечений возможны либо рефрагирующий, либо туннелирующий режимы волнового процесса. Следовательно, при записи радиальной зависимости (3) могут представиться три случая: $r_{\text{кр}}^i < a$, где a – радиус диэлектрического шара, внешнее критическое сечение $r_{\text{кр}}^e$ отсутствует (в этом случае волна распространяется как рефрагирующая); $r_{\text{кр}}^i < a < r_{\text{кр}}^e$ (в этом случае волна распространяется как туннелирующая); $0 < a < r_{\text{кр}}^i$, отсутствует внутреннее критическое сечение $r_{\text{кр}}^i$ (влияние диэлектрика на электромагнитное поле собственной волны в этом случае незначительно).

Таким образом, в слоистом биконическом волноводе поведение собственного E_{mn} или H_{mn} типа волны и величина его излучаемой с критического сечения мощности определяется соотношением между электрическим размером диэлектрического заполнения и значением критического сечения.

Получены выражения для потенциальных функций при произвольной временной зависимости с учетом свойств переходных электромагнитных полей в окрестности собственных критических сечений. Поперечные составляющие напряженностей электрического и магнитного полей можно определить с помощью ортонормированной системы функций на сферическом сечении неоднородных волноводов (см. выражения 6). Здесь необходимо отметить, что в случае произвольной временной зависимости, амплитудные функции будут определяться следующими соотношениями:

$$F_{v_{mn}}(r, t) = \int_{-\infty}^{\infty} A_{v_{mn}}^{\omega} \frac{\omega}{c} R'_{v_{mn}} \left(\frac{\omega r}{c} \right) e^{i\omega t} d\omega, \quad F_{\mu_{mn}}(r, t) = -Z_0 \int_{-\infty}^{\infty} B_{\mu_{mn}}^{\omega}(\omega) \frac{\omega^2}{c} R_{\mu_{mn}} \left(\frac{\omega r}{c} \right) e^{i\omega t} d\omega.$$

Временная зависимость может быть рассмотрена как преобразование Фурье в частотной области.

Третья глава диссертационной работы посвящена решению задач возбуждения неоднородных волноводов со сферическими направляемыми волнами сторонними источниками. Предлагаемое в работе решение отличается от известных, представлением радиальной зависимости собственных волн неоднородных волноводов со сферическими направляемыми волнами. Радиальная зависимость составлена с учетом поведения поля собственной волны в окрестности критического сечения, что позволяет упростить расчеты, а полученным результатам дать наглядную физическую интерпретацию. С учетом вышесказанного, была решена задача возбуждения биконического волновода сторонними источниками. Рассмотрены два режима: источник возбуждения находится за критическим сечением, и источник возбуждения находится до критического сечения. В первом случае поле собственной волны распространяется в обе стороны от источника без затухания, но при переходе через критическое сечение начинается затухание. Если же источник возбуждения находится до критического сечения, то поле собственной волны затухает по обе стороны от источника, а распространение возможно только при переходе за критическое сечение.

Проведено исследование процессов формирования излучаемого электромагнитного поля электрическим диполем, помещенным в диэлектрический шар. Результаты исследований имеют определенное практическое значение, так как малые по сравнению с длиной волны антенны, напоминающие элементарный электрический диполь, широко используются в качестве зондов.

Свойства изолированного элементарного электрического диполя определяются тем, в каком соотношении с внутренним и внешним критическими сечениями находится радиус диэлектрического шара, изолирующего электрический диполь. Представленные на рис. 3 зависимости позволяют сделать заключение, что сопротивление излучения изолированного электрического диполя по сравнению с неизолированным может быть увеличено в несколько раз, причем тем больше, чем больше диэлектрическая проницаемость изолятора. Соответственно увеличивается мощность излучения. Пользуясь приведенными расчетными графиками для некоторых значений ϵ , можно определить радиус диэлектрического шара для эффективного излучения изолированного электрического диполя, а также его эффективного согласования с питающей линией.

Решение задач об излучении простейшего диполя в диэлектрической среде позволило провести исследование биконического волновода, возбуждаемого электрическим диполем, помещенного в центр диэлектрического шара, расположенного в центре биконуса, что было реализовано в методике инженерного расчета слоистой биконической структуры, учитывающей влияние высших типов волн.

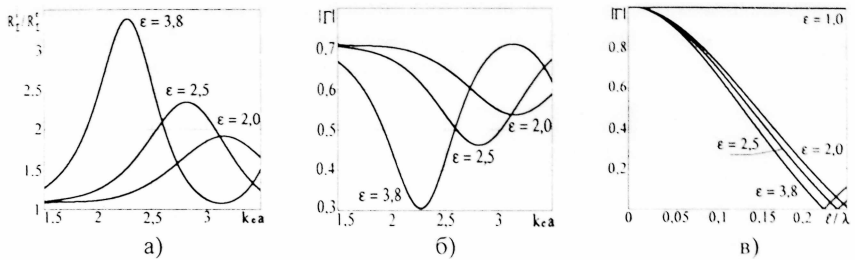


Рис. 3. Расчетные зависимости для изолированного диполя:

- а – изменение нормированного сопротивления излучения изолированного электрического диполя при различных значениях ϵ ;
- б – изменение модуля коэффициента отражения изолированного диполя при различных значениях ϵ материала диэлектрического шара;
- в – зависимость коэффициента отражения изолированного диполя от величины l/λ

Базируясь на приведенных во второй главе работы соотношениях, определены такие важные характеристики биконической антенны, как входное сопротивление и коэффициент отражения (рис. 4).

При расчете этих параметров вместе с основным типом волны (волна Т), учитывалось влияние на них высших типов – волн E_{0n} , которые вносят свой вклад в диапазонные ограничения характеристик антенн, построенных на основе биконической электродинамической структуры.

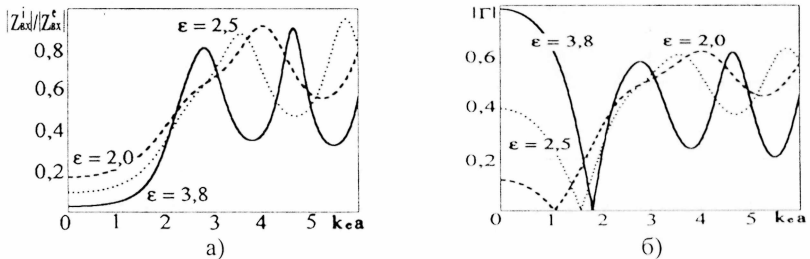


Рис. 4. Расчетные зависимости для биконической структуры с диэлектрическим включением:

- а – зависимости нормированного входного сопротивления биконической структуры от электрического размера диэлектрического заполнения;
- б – изменение коэффициента отражения биконической структуры

Таким образом, учитывая вместе с основным типом волны, ближайший высший тип волны в биконическом волноводе, определяется связь между размерами антенны и критическим сечением высшего типа волны. Графики

зависимостей (см. рис. 4) в высокочастотной части рабочего диапазона частот широкополосной антенны можно использовать для эффективного согласования антенны с питающей линией, подбирая радиус диэлектрического шара.

Разработанная методика расчета слоистых биконических структур была также использована при проектировании широкополосной дисконусной антенны.

В заключение третьей главы было рассмотрено электромагнитное поле биконической структуры, возбуждаемой сторонними источниками, при работе с нестационарными сигналами. В этом случае электромагнитное поле биконической структуры является не только функцией координат, но и времени.

Четвертая глава посвящена обзору существующих широкополосных антенн и построению на их базе широкополосного излучателя, с улучшенными характеристиками, а также сопоставлению полученных экспериментальных данных с теоретическими.

Обзор известных широкополосных антенн позволил выделить несколько типов излучателей, приблизительно удовлетворяющих принципам построения широкополосных антенн и имеющих малые электрические размеры. К числу таких излучателей относятся фрактальные антенны и тороидальные спиральные антенны, различные типы вибраторных излучателей, включая плоские, щелевые и конические вибраторы.

Широкополосные антенны на основе конических вибраторов наиболее близки по основным характеристикам к критерию потенциальной согласуемости антенн (пределу Чу-Харрингтона). Согласование конических вибраторов апертурными шунтами сводится к сверхширокополосной компенсации емкостной проводимости вибратора индуктивной проводимостью системы шунтов. Возможно согласование с помощью диэлектрического шара с центром в вершине конуса.

За основу конструкции разрабатываемой антенны был принят биконический вибратор. Усовершенствование рассмотренных конструкций биконических антенн, проведено за счет использования диэлектрического шара, расположенного в центре биконуса, который позволяет добиться высокого уровня согласования антенны с питающей линией, значительно увеличить электрическую прочность устройства возбуждения и в ряде случаев улучшить диапазонные свойства антенны. Варьируя радиусом диэлектрического шара можно добиться резкого уменьшения коэффициента отражения и как следствие эффективного согласования антенны с фидерным трактом в интересующем диапазоне частот.

Конструкция разработанной биконической антенны представлена на рис. 5. Геометрические размеры антенны: угол при вершине конуса $\theta = 90^\circ$; высота антенны $2h = 0,42\lambda_{\max}$; диаметр основания конуса $D = 0,42\lambda_{\max}$; количество шунтов $N = 3$ шт. Шунты располагаются по окружности, параллельно

оси антенны, с угловым интервалом $\beta = 360/N$. При экспериментальном исследовании использовались шары из фторопласта радиусами $a = 0,041\lambda_{\max}$ и $0,105\lambda_{\max}$.

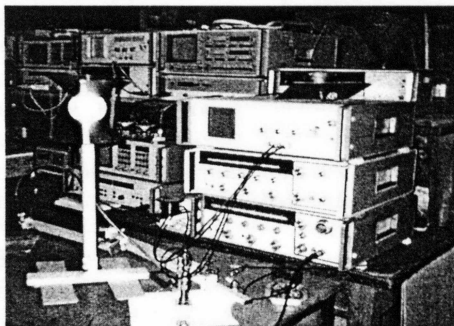
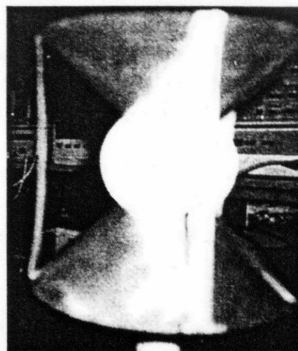
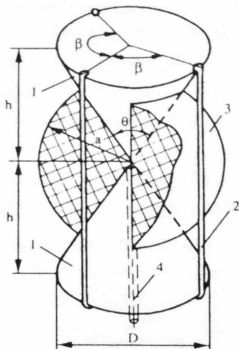


Рис. 5. Конструкция биконической антенны с диэлектрическим шаром:
1 – конусы; 2 – шунты; 3 – шар из диэлектрика; 4 – возбуждающий коаксиальный кабель

Основной целью экспериментальных исследований, являлось уточнение варианта конструкции, оценка возможностей приближения к предельным характеристикам согласно критерия Чу-Харрингтона, сопоставление экспериментальных данных с расчетными.

Измерялись основные характеристики (КСВ и диаграмма направленности) биконической антенны с рабочим диапазоном $0,7 \dots 1,25$ ГГц. Характеристика согласования в рабочем диапазоне частот: $1,41 \leq \text{КСВ} \leq 1,66$.

Исследовавшийся излучатель превышает по своим размерам минимальные размеры, определяемые пределом Чу-Харрингтона, в 1,8 раза, его характеристики предсказуемы и с достаточно высокой степенью точности были определены в результате проведенных расчетов.

Исследование влияния диэлектрического шара на уровень согласования выявило положительный эффект, заключающийся в получении высокого уровня согласования во всем рабочем диапазоне антенны, чего нельзя было добиться используя одни шунты, так как их влияние на согласование антенны имело место лишь в низкочастотной части рабочего диапазона.

Исследование влияния количества шунтов на согласование антенны с питающей линией подтвердило, что при увеличении количества шунтов уменьшается КСВ в низкочастотной части рабочего диапазона широкополосного излучателя.

На графиках рис. 6 изображены зависимости коэффициента отражения от $k_{\epsilon a}$ для биконической антенны с диэлектрическим шаром ($a = 0,105\lambda_{\max}$, $\epsilon = 2$) и без шунтов, так как теория критических сечений не учитывает их влияния.

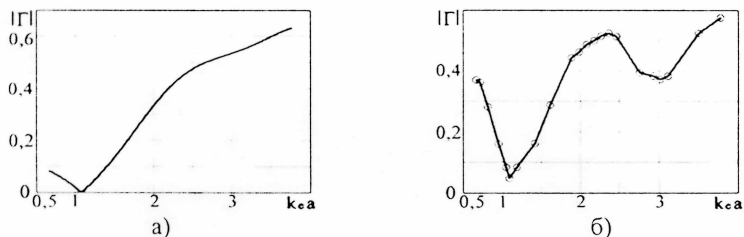


Рис. 6. Зависимости модуля коэффициента отражения:

а – расчетная зависимость; б – экспериментальная зависимость

Представленные зависимости иллюстрируют хорошее совпадение теории критических сечений, примененной к расчету биконических структур с диэлектрическим включением, и результатов, полученных при экспериментальном исследовании биконической антенны с диэлектрическим шаром. Наблюдается лишь качественное (по характеру зависимостей) совпадение результатов расчетов и измерений основных параметров антенны. Количественные различия в основном объясняются теми упрощениями, которые были приняты при построении математической модели антенны. Сопоставляя результаты расчетов и экспериментов можно полагать, что расхождения между истинными значениями коэффициента отражения и расчетными не превысят в среднем 25%. С учетом этого антенна может использоваться в системах измерения напряженности поля и потоков мощности.

Проведенные экспериментальные исследования широкополосного биконического излучателя, позволили добиться улучшения согласования в низкочастотной области, за счет использования шунтов, а в области высоких частот за счет размещения в центре биконуса шара из диэлектрика.

В заключении подведены итоги по диссертации в целом и сформулированы основные результаты работы:

1. Построена система собственных волн и соответствующих им собственных критических сечений для неоднородных волноводов со сферическими направляемыми волнами. Для каждого собственного типа волны получены выражения основных волновых и энергетических параметров.

2. Рассмотрены собственные волны слоистого биконического волновода, как базовой структуры при построении широкополосной биконической антенны. Определены волновые и энергетические характеристики биконического волновода с учетом диэлектрического включения.

3. Получены представления поперечных составляющих напряженностей электромагнитного поля неоднородных волноводов в виде разложений по полной векторной ортонормированной системе функций на сферическом сечении неоднородных волноводов, при произвольной временной зависимости.

4. Разработан метод решения задачи возбуждения биконической электродинамической структуры сторонними источниками, сочетающий метод собственных функций в сферическом базисе, функций заданного разрыва и концепцию критических сечений.

5. В результате решения задачи возбуждения сторонними источниками биконического волновода (в том числе с диэлектрическим включением) установлена зависимость спектрального состава возбужденного электромагнитного поля от положения стороннего источника как относительно геометрии неоднородной электродинамической структуры, так и относительно собственных критических сечений в ней. Определена область положений источника возбуждения, при которой возможны: одномодовый режим на основной волне биконического волновода, режимы рефрагирующих и туннелирующих волн в слоистых структурах.

6. Результаты решения задачи возбуждения элементарным электрическим диполем, помещенным в диэлектрический шар, свободного пространства позволили определить режимы рефрагирующих и туннелирующих волн электрического диполя.

7. Результатом решения задачи возбуждения биконической структуры (в том числе с диэлектрическим включением) электрическим диполем стала инженерная методика расчета, учитывающая вместе с основным типом волны, ближайший высший тип волны в биконическом волноводе и определяющая связь между размерами антенны и критическим сечением высшего типа волны.

8. Рассмотрены вопросы решения задачи возбуждения сторонними источниками биконического волновода в режиме нестационарных сигналов. Полученные выражения учитывают временную зависимость возбуждения, представленную различными временными функциями.

9. Разработанная конструкция биконической антенны, позволяет улучшить согласование с питающей линией в 1,3 раза в рабочем диапазоне частот по сравнению с известными конструкциями широкополосных излучателей. Экспериментально исследовавшийся излучатель с уровнем согласования по

КСВ не хуже 2, превышает по своим размерам минимальные размеры, определяемые пределом Чу-Харрингтона, в 1,8 раза.

Список публикаций по теме диссертационной работы:

1. Митрохин В.Н., Полищук А.Е. Собственные критические сечения и волны биконического волновода // Вестник МГТУ. Приборостроение. – 1998. – № 4. – С. 87–94.

2. Полищук А.Е. Электромагнитных волн в слоистом биконическом волноводе // Вестник МГТУ. Приборостроение. – 1998. – № 4. – С. 87–94. **1634812** Полищук А.Е. Широкополосные антенны на основе конических структур

3. Митрохин В.Н., Голубев В.В. Собственные критические сечения и волны биконического волновода // Вестник МГТУ. Приборостроение. – 1998. – № 4. – С. 87–94. **2003** **0-00** 9. – № 4 (37). – С. 80–89.

4. Митрохин В.Н., Полищук А.Е. Собственные критические сечения и волны биконического волновода // Вестник МГТУ. Приборостроение. – 1998. – № 4. – С. 87–94.

1634812

**ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока**
