

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 621.396.67

Бобков Юрий Юрьевич

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПРОВОЛОЧНЫЕ АНТЕННЫ
НА ОСНОВЕ РАМОЧНЫХ И ВИБРАТОРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск – 2004

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики радиоэлектроники»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,
Юрцев О.А.
(Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики радиоэлектроники», кафедра антенн и устройств СВЧ)

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ушаков Ю.С.
(Межгосударственная акционерная корпорация «Вымпел» Гомельское конструкторское бюро «Луч»)

Кандидат технических наук, доцент
Гусинский А.В.
(Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кафедра метрологии и стандартизации)

Оппонирующая организация – Военная академия Республики Беларусь,
г. Минск

Защита состоится « 11 » ноября 2004 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.02 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6, БГУИР, ауд.232, 1 уч. корп., тел. 239-89-89)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Проволочные антенны широко применяются в различных радиосистемах. В диапазоне метровых и дециметровых волн наиболее распространенными типами антенн являются вибраторные, рамочные, спиральные антенны. Разработано большое количество конструкций и модификаций этих антенн. Вместе с тем, существует необходимость разработки новых конструкций, или обеспечивающих работу в более широком диапазоне частот, или имеющих преимущества по направленным свойствам. Например, для приема телевизионных сигналов в метровом и дециметровом диапазонах волн необходимы двух-, трехдиапазонные антенны. В современных радиолокационных станциях метрового диапазона требуются антенны с коэффициентом перекрытия по частоте 1,4 -1,5, что связано с применением широкополосных зондирующих сигналов. Применяемые до сих пор директорные антенны не обеспечивают работу в таком широком диапазоне частот, логопериодические имеют в ряде случаев неприемлемо большие габариты.

В базовых станциях подвижных систем связи используются антенны, обеспечивающие работу в заданном угловом секторе в горизонтальной плоскости или антенны, ненаправленные в горизонтальной плоскости. Антенны первого типа строятся как линейные вертикальные решетки вертикальной или горизонтальной поляризации. В качестве излучателей используются симметричные вибраторы, возбуждаемые с помощью разветвленной фидерной системы распределения мощности. Такая система существенно усложняет конструкцию антенны. Антенны второго типа, ненаправленные в горизонтальной плоскости, строятся как линейные вертикальные решетки из вертикальных симметричных вибраторов, возбуждаемых также с помощью фидерной системы распределения мощности. Такие решетки имеют вертикальную поляризацию. В ряде радиосистем такого типа требуется применение горизонтальной поляризации. Задача построения такой антенны существенно сложнее, чем антенны с вертикальной поляризацией.

Работа по теме диссертации направлена на разработку и исследование новых конструкций проволочных антенн метрового и дециметрового диапазонов волн, имеющих преимущества перед широко применяемыми вибраторными и рамочными антеннами по диапазонным свойствам и возможности построения на их основе линейных антенных решеток, не требующих применения систем распределения мощности, включая решетки с изотропной диаграммой направленности в электрической плоскости.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Вопросы, решаемые в диссертации, являются частью государственной программы фундаментальных исследований «Микроволны», утвержденной постановлением Президиума НАН Беларуси №95 от 5.07.2001г. и государственной программы ориентированных фундаментальных исследований «Электроника - 33» и «Электроника -42», утвержденной постановлением Президиума НАН Беларуси №89 от 29.09.2003г.

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка и исследование проволочных антенн с улучшенными частотными и направленными свойствами, построенных на основе комбинации рамочных и вибраторных излучателей, и оптимизация их параметров.

Основные задачи диссертации:

- разработка способа построения и исследование широкополосных и двухдиапазонных проволочных антенн;
- разработка способа построения и исследование широкополосных линейных антенных решеток с поперечным и продольным излучением;
- разработка способа построения и исследование широкополосных антенных решеток с изотропной диаграммой направленности в электрической плоскости.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются новые конструкции проволочных антенн, построенных на основе рамочных и вибраторных излучателей. Предмет исследования – способы объединения рамочных и вибраторных излучателей в одной антенне и закономерности в зависимости электрических характеристик и параметров антенн от их геометрических параметров и частоты.

Методология и методы проведенного исследования. Метод исследования – численный эксперимент с использованием разработанных численных моделей антенн, построенных на основе интегрального уравнения для тока в тонких проводниках, метода Галеркина для решения интегрального уравнения, метода численного определения характеристик и параметров антенн.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

1. Предложен способ объединения рамочного излучателя в виде разомкнутой рамки и симметричного вибратора, позволяющий расширить полосу частот антенны, увеличить коэффициент направленного действия вибраторной антенны и создать антенны для работы в двух диапазонах частот с существенно различающимися средними частотами.

2. Предложен способ объединения рамочных и линейных излучателей, позволяющий расширить полосу частот проволочной антенны бегущей волны.

3. Предложена схема построения линейной антенной решетки из разомкнутых рамочных излучателей, позволяющая создавать антенны с квазиизотропной диаграммой направленности в электрической плоскости.

4. Разработаны математические модели новых конструкций антенн на основе интегрального уравнения (ИУ) для тока в тонких проводниках, проведена оптимизация вычислительных процедур решения ИУ, обоснован выбор системы весовых и базисных функций для решения ИУ для тока в проволочной антенне.

Практическая (экономическая, социальная) значимость полученных результатов. Разработанная и исследованная широкополосная рамочно-вибраторная антенна и программное обеспечение для ее проектирования использованы на НПО «Горизонт» (г. Минск) при доработке серийно выпускаемой приемной всеволновой телевизионной антенны «Бетта».

Разработанная на основе объединения кольцевых и линейных излучателей антенна (антенна типа «Кольцо-стержень») и программное обеспечение, разработанное для проектирования рамочно-вибраторных антенн, используются в СКБ «Камертон» (г. Минск) при подготовке проекта создания антенной решетки для радиолокатора метрового диапазона.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Способ объединения рамочного излучателя в виде разомкнутой рамки и линейного вибратора, позволяющий увеличить полосу частот и коэффициент направленного действия вибраторной и рамочной антенн и создавать антенны для работы в двух диапазонах частот с существенно различающимися средними частотами.
2. Способ объединения рамочных и линейных излучателей, позволяющий расширить полосу частот проволочной антенны бегущей волны.
3. Схема построения линейной антенной решетки из разомкнутых рамочных излучателей, позволяющая создавать антенны с квазиизотропной диаграммой направленности в электрической плоскости.
4. Закономерности в зависимости электрических характеристик и параметров антенн, построенных на основе предложенных способов, от их геометрических параметров и частоты.
5. Численные модели антенн, построенных на основе предложенных способов.

Личный вклад соискателя. Автором диссертации: разработана схема построения линейной антенной решетки с квазиизотропной диаграммой направленности в электрической плоскости; предложен способ объединения рамочного и вибраторного излучателей, позволяющий построить двухдиапазонную широкополосную антенну; разработаны численные модели всех исследованных антенн и получены численные результаты в виде закономерностей в зависимости электрических характеристик и параметров антенн от их геометрических параметров и частоты.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах различного уровня: VII международная научно-техническая конференция «Современные средства связи» (п. Нарочь, 2002г.); 12th International Travelling Summer School on Microwave & Lightwave (г. Минск, 2002); Белорусско-Литовский семинар «Антенны и измерения» (Минск, 2002); 14th International Travelling Summer School on Microwave & Lightwave (Brno, Czech Republic, 2002); научно-технические конференции студентов и аспирантов БГУИР (г. Минск, 2002-2004); 6-я Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники» (Красноярский государственный технический университет, Красноярск, 2004 г.); Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов» (Волгоградский государственный университет, Россия, г. Волгоград, 2004 г.).

Опубликованность результатов. Изложенные в диссертационной работе материалы опубликованы в 10 печатных работах общим объемом 28 страниц, в том числе 4 статьи в научно-технических журналах, 4 статьи в материалах научно-технических конференций, описание 2 патентов Республики Беларусь. Результаты исследования содержатся в 3 отчетах о НИР.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения; общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников, приложения. Общий объем диссертации составляет 121 машинописной страницы, включая: 112 рисунков на 39 страницах, 4 таблицы на 2 страницах, библиографический список из 71 наименования литературных источников на 5 страницах, 4 приложения на 4 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснована ее актуальность, сформулированы цели и задачи, излагаются основные результаты диссертационной работы.

В первой главе проведен выбор объектов исследования и выбор метода исследования.

С целью выбора объекта исследования рассмотрены основные типы проволочных антенн диапазона УКВ, используемых в различных радиосистемах, а также сформулированы некоторые предложения по построению новых конструкций антенн, имеющих преимущества перед известными. В качестве новых конструкций широкополосных антенн рассмотрены антенны на основе комбинации рамочных и вибраторных излучателей. В таких конструкциях антенн для расширения рабочего диапазона частот предлагается увеличивать сопротивление излучения путем комбинации рамочных и вибраторных излучателей и применения разомкнутых рамок с длиной периметра, близкой к двум длинам волн. Рассмотрены возможности построения широкополосных ливейных антенных решеток без системы распределения мощности, а также антенных решеток с изотропной в электрической плоскости диаграммой направленности.

С целью выбора метода исследований проведен обзор методов решения внутренней задачи теории антенн. Для решения поставленных задач выбран метод интегральных уравнений (ИУ). Его преимуществами являются строгость, применимость для любых объектов, состоящих из проводников любой конфигурации и длины.

Проведен краткий обзор метода интегральных уравнений. На основании выбора объектов исследования и анализа методов исследования сформулированы задачи диссертационной работы.

Во второй главе проведен краткий анализ интегральных уравнений, используемых при численном решении внутренней задачи для проволочных антенн.

Выбрано интегральное уравнение Поклингтона как наиболее универсальное, с точки зрения используемых базисных и весовых функций при решении задач возбуждения проволочной антенны и задач рассеяния поля проволочными объектами. Проведены дополнительные исследования, касающиеся применения различных систем базисных и весовых функций при решении уравнения Поклингтона (1):

$$\int_L \left\{ G(l_q, l_p) (\vec{l}_o, \vec{S}_o) - \frac{1}{k^2} \frac{d^2 G(l_q, l_p)}{dl_p dl_q} \right\} \cdot I(l_q) \cdot dl_q = -i \frac{4\pi}{\omega \mu_a} (\vec{E}_{ct}, \vec{S}_o), \quad (1)$$

где L – контур проводника антенны; $G(l_q, l_p) = \frac{\exp(-ikR(l_q, l_p))}{R(l_q, l_p)}$ – функция

Грина точечного источника; $R(l_q, l_p)$ – расстояние между точкой истока на оси проводника и точкой наблюдения на поверхности проводника; l_q, l_p – криволинейные координаты точки истока и наблюдения, отсчитываемые вдоль оси проводника; \vec{l}_o, \vec{S}_o – единичные векторы, касательные к оси проводника в токаx истока и наблюдения; $k = \omega \sqrt{\epsilon_a \mu_a}$; ϵ_a, μ_a – абсолютные диэлектрическая и магнитная проницаемости среды, в которой расположена антенна; \vec{E}_{ct} – вектор стороннего электрического поля, возбуждающего проводник.

Показано, что решение внутренней задачи по входному сопротивлению наиболее быстро сходится при использовании в качестве базисных функций – кусочно-синусоидальных, а в качестве весовых – δ -функций. Новым при такой комбинации базисных и весовых функций является разработанная численная модель тонкопроволочной антенны, в которой сегменты параллельны одной и той же оси. Показано, что в этом случае при вычислении коэффициентов матрицы системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), к которой преобразуется интегральное уравнение методом Галеркина, матрицы обобщенных взаимных сопротивлений отпадает операция численного интегрирования. Это существенно сокращает время решения задачи, повышает точность ее решения, позволяет численно моделировать антенны из очень тонких проводников с большими волновыми размерами. В этом случае коэффициенты матрицы СЛАУ имеют вид:

$$K_{mn} = \frac{1}{\sin[k(l_m - l_{m-1})]} \frac{1}{k} G(l_{m-1}, l_n) - 2 \cdot \frac{1}{k} G(l_m, l_n) \times \\ \times (\text{ctg}[k(l_m - l_{m-1})] + \text{ctg}[k(l_{m+1} - l_m)]) + \frac{1}{\sin[k(l_{m+1} - l_m)]} \frac{1}{k} G(l_{m+1}, l_n) \quad (2)$$

где l_m, l_n – координаты начала сегментов, на которые разбит проводник при решении интегрального уравнения методом моментов, имеющих номера m и n ($1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq M, M$ – число сегментов).

Разработанную численную модель целесообразно использовать при моделировании таких антенн, как вибраторные, включая директорные антен-

ны с линейными, плоским и уголковыми рефлекторами, состоящими из проводников, параллельных вектору \vec{E} , линейные и плоские антенные решетки из вибраторных антенн метрового, дециметрового и длинноволновой части сантиметрового диапазонов волн.

При анализе проволочных антенн, состоящих из криволинейных проводников или проводников, расположенных относительно друг друга под углом, отличным от 180° , содержащих рефлекторы из пересекающихся проводников, целесообразно использовать в качестве базисных и весовых функций кусочно-постоянные. В этом случае нет необходимости использовать дополнительные условия для тока в узлах пересечения проводников. Это упрощает задачу расчета матрицы коэффициентов СЛАУ, сокращает время решения этой части задачи.

Впервые исследована атомарная функция $U_p(x)$ в качестве базисной при решении интегрального уравнения Поклингтона для тонкопроволочной антенны. Такая функция обладает хорошими аппроксимирующими свойствами и используется при решении задач синтеза антенн и ряде других областей радиотехники. На примере симметричного вибратора показано, что применение этой функции не улучшает сходимость решения внутренней задачи по сравнению с кусочно-синусоидальной функцией.

Проведены дополнительные исследования моделей возбуждения. Показано, что усложнение простейшей модели в виде одного возбуждаемого сегмента путем применения итерационного процесса практически не улучшает сходимость и точность решения внутренней задачи. Проведены дополнительные исследования модели возбуждения в виде кольца магнитного тока. Усовершенствована такая модель возбуждения. Разработан алгоритм, позволяющий определять касательную составляющую стороннего поля не только на сегментах, параллельных нормали к плоскости витка магнитного тока. Это повышает точность решения задачи нахождения распределения тока в проводниках антенны и ее входное сопротивление. Кольцо магнитного тока моделирует раскрыт коаксиальной линии, возбуждающей антенну. Такую модель целесообразно использовать при анализе антенн с несимметричным входом.

В результате проведенного анализа литературных источников и дополнительных исследований метода интегральных уравнений для численного моделирования антенн, рассматриваемых в диссертации, выбрано интегральное уравнение Поклингтона с применением кусочно-постоянных функций в качестве базисных и весовых. В качестве модели возбуждения используется: модель возбуждения одного сегмента напряжением, заданным между его концами – при анализе антенн с симметричным входом и модифицированная модель в виде кольца магнитного тока – при анализе антенн с несимметричным входом.

В третьей главе проведены исследования широкополосных антенн, построенных на основе разомкнутых двухволновых рамок.

Проведено сравнение электрических характеристик антенны, состоящей из двух параллельно соединенных ромбических рамок, разомкнутых в противоположных углах, и антенны, состоящей из параллельно соединенных ромбических рамок с замкнутыми углами (антенны Харченко). Показано, что антенна в виде параллельно соединенных разомкнутых рамок с длиной периметра каждой, близкой к двум длинам волн, имеет более высокое сопротивление излучения. Это приводит к расширению рабочей полосы частот.

Исследован вопрос о сходимости решения интегрального уравнения для тока при использовании кусочно-постоянных функций в качестве базисных и весовых. Показано, что устойчивое решение достигается при числе сегментов на длину волны равном 70-150 и при отношении длины сегмента к диаметру провода, равном 0,8-1,6. Установлено, что антенна с разомкнутыми концами рамки имеет больший на 3-4 дБ коэффициент направленного действия (КНД), чем антенна с замкнутыми рамками. При моделировании антенн в широком диапазоне длин волн и при различной конфигурации рамок установлено, что наиболее стабильное поведение составляющих входного сопротивления имеет антенна с двухволновыми разомкнутыми рамками при угле при вершине рамки, равном 90° .

Впервые проведены исследования влияния сетчатого рефлектора на направленные и диапазонные свойства антенны, состоящей из двух параллельно соединенных рамок с разомкнутыми концами. Показано, что антенна сохраняет стабильное входное сопротивление в широком диапазоне длин волн при расстоянии между экраном и рамками близком к 0,25 средней длины волны рабочего диапазона. Экран из горизонтальных проводников увеличивает КНД антенны на 2-3 дБ. Исследовано влияние расстояния между проводниками экрана на электрические характеристики и параметры антенны. Показано, что уменьшение расстояния между проводниками экрана менее 0,1 длины волны не приводит к существенному изменению входного сопротивления, заметному увеличению КНД и уменьшению заднего излучения.

Исследования новая конструкция двухдиапазонной антенны с одним входом на основе комбинации симметричного вибратора и антенны из параллельно соединенных разомкнутых рамок. В такой антенне вибратор подключается к сторонам рамки, образующих разомкнутый угол и обеспечивает работу антенны в более низкочастотном диапазоне. Средняя частота этого диапазона зависит от длины плеч симметричного вибратора. Показано, что вибратор низкочастотного диапазона практически не влияет на параметры антенны в высокочастотном диапазоне, если плечи вибратора подключены к серединам сторон рамки, образующих разомкнутый угол. В низкочастотном диапазоне рамочная антенна служит участком линии передачи, возбуждающей симметричный вибратор.

Проведены исследования такой антенны с использованием петлевого симметричного вибратора. В этом случае при сильно разнесенных частотах двух диапазонов и использовании укороченного симметричного вибратора повышается его входное сопротивление, что облегчает согласование антенны в двух диапазонах.

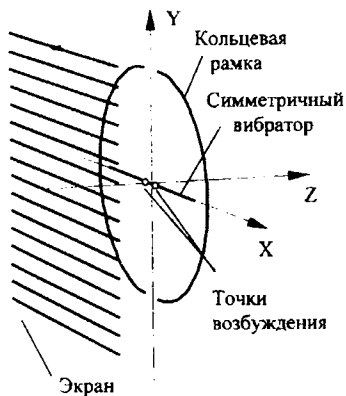


Рис.1.

Проведены численные исследования новой конструкции широкополосной антенны, построенной на основе комбинации разомкнутой двухволновой рамки, возбуждаемой полем диаметрально расположенного симметричного вибратора (рис.1).

Установлено, что кольцевая рамка увеличивает КНД вибратора и существенно изменяет его входное сопротивление: активная часть возрастает и в меньших пределах изменяется при изменении длины волны. Изменяется характер зависимости реактивной части от длины волны: величина реактивной

части входного сопротивления не меняет знака в широком диапазоне частот, что позволяет компенсировать ее при согласовании антенны с линией передачи. Исследовано влияние рефлектора (размеров, расстояния между проводниками, расстояния до плоскости рамки) на характеристики и параметры антенны. Установлено, что экран из горизонтальных проводников увеличивает активную и реактивную части сопротивления антенны, КНД антенны возрастает примерно на 3 дБ. Предложенная и исследованная антенна может быть использована в качестве широкополосной антенны диапазона УКВ.

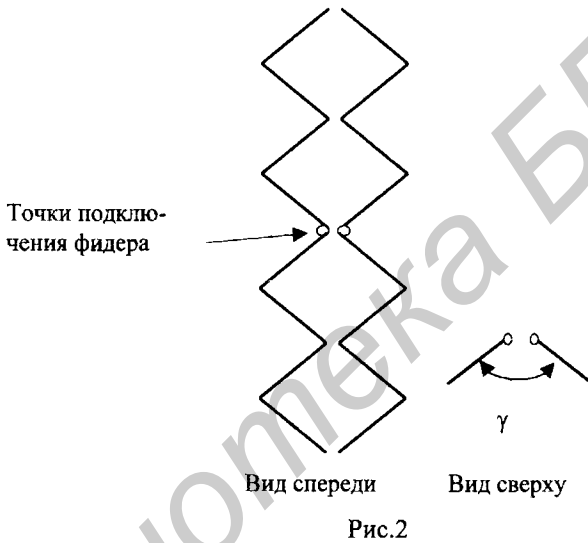
Впервые исследованы линейные антенные решетки без системы распределения мощности в виде нескольких последовательно соединенных пар разомкнутых рамок. Принципиальная возможность построения таких решеток ранее была описана в литературе. Однако сведений о характеристиках и параметрах не приводилось.

Показано, что входное сопротивление антенных решеток более стабильно в исследуемом диапазоне длин волн, чем входное сопротивление одиночной антенны с двумя рамками. Наибольший КНД (11 дБ – без рефлектора, 13-14 дБ с рефлектором) достигается при трех парах рамок. Дальнейшее увеличение числа пар рамок приводит к раздвоению главного лепестка ДН, что связано с появлением в линейной решетке квадратичного фазового распределения тока.

В четвертой главе кратко рассмотрены применяемые в настоящее время конструкции всенаправленных в электрической плоскости антенн горизонтальной поляризации и трудности при создании таких антенн с достаточно большим КНД. Предложена и исследована новая конструкция всенаправленной антенны и антенной решетки с квазиизотропной диаграммой направленности в электрической плоскости. Антенна и антенная решетки строятся также на основе двухволновой разомкнутой рамки.

Показано, что диаграмму направленности, близкую к круговой в электрической плоскости, можно получить путем излома рамки в этой плоскости

на некоторый угол γ . На рис.2 показана антенная решетка из таких рамок. Путем численного моделирования установлено, что диапазонные свойства одной пары рамок практически не зависят от угла излома рамок γ , а диаграмма направленности зависит существенно. Такая антенна оптимизирована по критерию минимума неравномерности диаграммы направленности в электрической плоскости. Рассмотрена синфазная линейная решетка в виде последовательно соединенных изломанных рамок (рис.2). Проведена оптимизация решетки по минимуму неравномерности диаграммы направленности в электрической плоскости путем подбора закона изменения угла γ от рамки к рамке. Показано, что неравномерность не превышает 1,5 дБ при КНД=8-9 дБ.



В пятой главе проведены исследования новой конструкции широкополосной проволочной антенны бегущей волны с линейной поляризацией, имеющей несимметричный вход, построенной на основе комбинации рамочных и линейных излучателей (рис.3). Направитель такой антенны представляет собой последовательное соединение кольцевых или прямоугольных рамок и прямолинейных отрезков провода (система типа «Кольцо-стержень»).

Антенна имеет плоский или линейный рефлектор и может быть снабжена системой директоров. Поляризация линейная, вектор \vec{E} поля в дальней зоне показан на рис.3.

Численно исследованы основные закономерности в антенне. Показано, что максимальный коэффициент перекрытия по частоте диапазона, в котором наблюдается режим осевого излучения, достигается при соотношении сторон

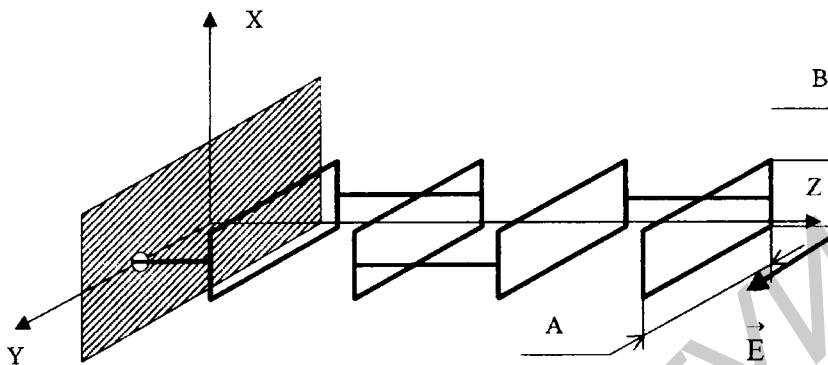


Рис.3

рамки $\frac{A}{B}=1$ и равен 1,4...1,5. Это существенно превышает коэффициент перекрытия по частоте директорной антенны с таким же КНД. В отличие от директорной антенны исследованная антенна имеет несимметричный вход и не требует применения симметрирующего устройства.

Проведена оптимизация расстояний между рамками по максимуму КНД антенны на средней длине волны рабочего диапазона. Показано, что КНД оптимизированной антенны на 1,5 дБ больше чем КНД антенн при периодическом расположении колец.

Проведены исследования влияния параметров рефлектора на характеристики и параметры антенны. В качестве рефлектора использовался одиночный проводник, расположенный в плоскости E, и сетчатый плоский и уголкового рефлектор. Показано, что уголкового рефлектор имеет преимущества перед плоским рефлектором. Наиболее оптимальным с точки зрения наибольшего КНД, является рефлектор, изогнутые плоскости которого находятся под углом 90° . В этом случае КНД антенны на 2 дБ больше чем КНД антенны с плоским рефлектором такой же высоты.

Проведены исследования влияния директоров на диапазонные и направленные свойства антенны. Показано, что применение 3 директоров увеличивает КНД антенны на 2,5 дБ на средней длине волны рабочего диапазона.

Исследована также антенна при $B=0$, для которой прототипом является описанная в литературе синусоидальная антенна, но не исследованная теоретически. Показано, что в такой антенне в рабочем диапазоне частот, в котором сохраняется режим осевого излучения, реактивная часть входного сопротивления не меняет знака и отрицательна. Это облегчает согласование антенны с линией передачи путем компенсации реактивного сопротивления. Разработано соответствующее согласующее устройство, обеспечивающее $K_{СВН}<2$ в коаксиальном фидере с волновым сопротивлением 75 Ом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация посвящена разработке и исследованию новых конструкций проволочных антенн диапазона УКВ, построенных с использованием комбинаций рамочных и вибраторных излучателей. На основе рамочных и вибраторных излучателей разработаны способы построения широкополосных и двухдиапазонных проволочных антенн, линейных антенных решеток с поперечным и продольным излучением, широкополосных антенных решеток с изотропной диаграммой направленности в электрической плоскости. На две конструкции антенн получены патенты Республики Беларусь [9,10]. Все антенны исследованы численно. Установлены основные закономерности в зависимости электрических характеристик и параметров антенн от их геометрических параметров и частоты. Сделаны рекомендации по выбору геометрических параметров антенн для работы в заданном диапазоне частот с требуемыми электрическими характеристиками и параметрами.

Разработанные и исследованные конструкции антенн предназначены для применения в качестве:

- приемных телевизионных антенн,
- передающих телевизионных антенн,
- приемо-передающих антенн для базовых станций и абонентских станций локальных систем связи,
- элементов антенных решеток радиолокационных систем.

В диссертации:

1. Проведен краткий анализ проволочных антенн, применяемых в диапазоне УКВ в различных радиосистемах. Сделан вывод о необходимости разработки новых вариантов построения проволочных антенн, обладающих преимуществами по диапазонным и направленным свойствам, и программного обеспечения для их проектирования. Проведен анализ применяемых численных методов анализа проволочных антенн и, в частности, метода интегральных уравнений для тока в тонких проводниках, на основе которого решается внутренняя задача теории антенн. Проведены дополнительные исследования, касающиеся применения различных систем базисных и весовых функций при решении интегрального уравнения Поклингтона. В результате показано, что при применении в качестве базисных функций кусочно-синусоидальных и в качестве весовых – δ -функций сходимость и точность решения внутренней задачи наиболее высокие для проволочных антенн в виде систем параллельных проводников. Для проволочных антенн более сложной конфигурации наиболее оптимальным сочетанием базисных и весовых функций являются кусочно-постоянные функции [1, 8].

2. Исследована атомарная функция $U_p(x)$ в качестве базисной при решении интегрального уравнения Поклингтона для тонкопроволочной антенны на примере линейного вибратора. Показано, что, несмотря на хорошие аппроксимирующие свойства, применение этой функции не улучшает сходимость решения внутренней задачи по сравнению с кусочно-синусоидальной.

Проведены дополнительные исследования моделей возбуждения. Показано, что усложнение простейшей модели в виде одного возбуждаемого сегмента путем применения итерационного процесса практически не улучшает сходимость и точность решения внутренней задачи. Проведены дополнительные исследования модели возбуждения в виде кольцевого магнитного тока. По сравнению с описанными в литературе получены более общие результаты при возбуждении антенны сложной конфигурации [2, 5, 7].

3. Предложены новые варианты построения проволочных антенн на основе применения разомкнутых рамок. Численное моделирование двойной двухволновой рамочной антенны при различных геометрических параметрах показывает, что антенна имеет стабильное входное сопротивление в широком диапазоне частот. КНД антенны на 2-3 дБ больше чем КНД антенны, построенной на основе двойной замкнутой рамки, длина периметра которой равна одной длине волны (антенны Харченко). Впервые подробно исследовано влияние параметров рефлектора на характеристики и параметры рамочной антенны. Использование рефлектора из прямолинейных параллельных проводников увеличивает КНД антенны на 2-3. Показано, что на основании двойной двухволновой разомкнутой рамки антенны может быть создана двухдиапазонная антенна, которая может быть использована в качестве приемной телевизионной антенны. Антенна строится с использованием дополнительного симметричного вибратора, подключаемого к сторонам рамок. Установлено, что кольцевая рамочная антенна, возбуждаемая симметричным вибратором, также может использоваться в качестве широкополосной антенны диапазона УКВ. КНД такой антенны составляет 5-6 дБ, а при применении рефлектора увеличивается на 2-3 дБ в диапазоне длин волн [1, 3, 6, 9].

4. Рассмотрены линейные антенные решетки, не требующие специальной системы распределения мощности, построенные на основе двухволновой разомкнутой рамки. Наиболее оптимальной, с точки зрения высокого КНД, является линейная антенная решетка, имеющая три пары рамок. КНД такой антенны без дополнительного рефлектора составляет 11 дБ. Такая линейная антенная решетка может использоваться в системах радиосвязи и радиолокации. На основе двойной двухволновой рамочной антенны исследована возможность создания антенны горизонтальной поляризации с изотропной (квазиизотропной) диаграммой направленности в горизонтальной плоскости и узкой диаграммой направленности в вертикальной плоскости. Определены геометрические размеры всенаправленной антенны, имеющей 1, 2, 3 пары рамок. Неравномерность диаграммы направленности в горизонтальной плоскости таких антенн не превышает 1,5 дБ, а КНД не менее 7 дБ. Таким образом, всенаправленные антенны на основе двойной двухволновой рамочной антенны обеспечивают высокое усиление в более широком диапазоне длин волн, чем существующие антенны [4].

Численное моделирование всех антенн выполнено с применением разработанных автором численных моделей антенн и программного обеспечения, реализующего эти модели.

ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ:

Статьи в научных журналах

1. Юрцев О.А., Бобков Ю.Ю. Численное моделирование проволочных антенн из конгруэнтных проводников. // Известия белорусской инженерной академии. – 2002. – №2(14)/1. – С. 76-78.
2. Бобков Ю.Ю. О применении атомарных функций при решении внутренней задачи для линейного вибратора // Доклады БГУИР. –2003. – №3. – С. 47 – 52.
3. Бобков Ю.Ю. Новая конструкция рамочной антенны. Численный анализ и оптимизация.// Доклады БГУИР. – 2004. –№4. –С. 47-52.
4. Бобков Ю.Ю., Юрцев О.А. Ненаправленные антенны горизонтальной поляризации на основе ромбической рамочной антенны // Вестник Военной академии Республики Беларусь – 2004. – №3. – С. 65–69.

Статьи в сборниках трудов конференций

5. Bobkov Yuri. The Partial-Sinusoidal Basis Function on Numerical Modelling of Antenna. // 12th International Travelling Summer School on Microwave & Lightwave: Conf. Proc., Minsk, July 13-18, 2002. / Belarus Section of IEEE. – Minsk. 2002. – P. 102 – 106.
6. Бобков Ю.Ю., Юрцев О.А. Широкополосная приемная телевизионная антенна. // 6-я Всероссийская научно-техническая конференция молодых учёных и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники»: Материалы конференции, Красноярск 6–7 мая 2004 г. / Красноярский государственный технический университет. –Красноярск, 2004. – С. 255 – 258.
7. Bobkov Yuri. New designs of wire antennas for VHF band (numerical modeling and optimization) // 14th International Travelling Summer School of Microwaves and Lightwaves., 10-15 July 2004. / Conf. Proc. Brno University of Technology. – Czech Republic, Brno, 2004. – P. 401 – 404
8. Бобков Ю.Ю., Юрцев О.А. Двухдиапазонная приемная ТВ антенна. // III –Международная научно-техническая конференция «Физика и технические приложения волновых процессов», Волгоград, 6-12 сентября 2004г. / Волгоградский государственный университет. – Волгоград, 2004. – С. 107 – 112.

Патенты

9. Пат. С1 ВУ, МПК Н 01Q 9/00 Рамочная антенна / Юрцев О.А., Малевич И.Ю., Бобков Ю.Ю. – № 5284; Заявл. 07.08.1998; Опубл.30.03.2000 // Официальный бюллетень/ Гос. пат. ведомство Респ. Беларусь. –2000. –№1. – С.107.
10. Пат. С1 ВУ, МПК Н 01Q 9/00 Широкополосная антенна / Юрцев О.А., Малевич И.Ю., Бобков Ю.Ю. – № 5170; Заявл. 07.08.1998; Опубл.30.03.2000 // Официальный бюллетень/ Гос. пат. ведомство Респ. Беларусь. –2000. –№1. – С.107.



ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПРОВОЛОЧНЫЕ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ РАМОЧНЫХ И ВИБРАТОРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Перечень ключевых слов: антенны, интегральные уравнения для тока, метод Галеркина, базисные функции, рамочно-вибраторные антенны, линейные антенные решетки.

Предмет исследования: новые конструкции проволочных антенн диапазона УКВ, построенные на основе комбинаций рамочных и вибраторных излучателей, имеющих преимущества перед широко применяемыми вибраторными и рамочными антеннами по диапазонным свойствам и возможности построения на их основе линейных антенных решеток без систем распределения мощности, в том числе с изотропной диаграммой направленности в электрической плоскости, а также широкополосных антенн бегущей волны с несимметричным входом.

Цель работы: разработка способов построения и исследование проволочных антенн на основе комбинации рамочных и вибраторных излучателей, отличающихся улучшенными частотными и направленными свойствами, и их исследование.

Метод исследования: численный эксперимент.

Результаты работы. Предложены способы объединения:

рамочного излучателя в виде разомкнутой рамки и симметричного вибратора, позволяющий увеличить полосу частот антенны и создать антенны для работы в двух диапазонах частот с существенно различающимися средними частотами;

рамочного и вибраторного излучателей, позволяющий увеличить полосу частот и коэффициент направленного действия вибраторной антенны;

рамочных и линейных излучателей, позволяющий расширить полосу частот проволочной антенны бегущей волны.

Предложена схема построения линейной антенной решетки из разомкнутых рамочных излучателей квазиизотропной диаграммой направленности в электрической плоскости; разработаны численные модели новых конструкций антенн на основе интегрального уравнения (ИУ) для тока в тонких проводниках, проведена оптимизация вычислительных процедур решения ИУ, проведено численное исследование разработанных новых конструкций антенн и установлены закономерности в зависимости электрических характеристик и параметров антенн от их геометрических параметров и частоты.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании широкополосных проволочных антенн современных систем радиолокации, радионавигации, систем телевизионного вещания и других радиотехнических систем.

ШЫРАКАПАЛОСНЫЯ ДРАЦЯНЫЕ АНТЭНЫ НА АСНОВЕ РАМАЧНЫХ І ВІБРАТАРНЫХ ВЫПРАМЕНЬВАЛЬНІКАЎ

Пералік ключавых слоў: антэны, інтэгральныя ўраўненні для току, метады Галеркіна, базісныя функцыі, рамачна-вібратарныя антэны, лінейныя антэныя рашоткі.

Прадмет даследванняў: новыя канструкцыі драцяных антэн мятровага і дэцыметравага дыяпазонаў длін хваль, пабудаваных на аснове камбінацый рамачных і вібратарных выпраменьвальнікаў, маючых перавагі перад шырока ўжываемымі вібратарнымі і рамачнымі антэнамі па дыяпазонным уласцівасцям і магчымасці пабудовы на іх аснове лінейных антэнных рашотак вертыкальнай і гарызантальнай палярызацыі без сістэмы размяркоўвання магутнасці, у тым ліку з ізатропнай дыяграмай накіраванасці у электрычнай плоскасці, а таксама шырокапалосных антен бягучай хвалі з несіметрычным уваходам.

Мэта работы: распрацоўка спосабаў пабудавання і даследавання драцяных антэн на аснове камбінацыі рамачных і вібратарных выпраменьвальнікаў, які адрозніваецца палученнымі частотнымі і накіраванымі уласцівасцямі, і іх даследаванне.

Метады даследавання: чыславы эксперымент.

Вынікі работы: Прапанаваны спосабы злучнасці:

- рамачнага выпраменьвальніка ў выглядзе разамкнутага рамкі і сіметрычнага вібратора, які дазваляе пашыраць паласу частот антэны і ствараць антэны для работы ў двух дыяпазонах частот з сярэднімі частотамі якія істотна адрозніваюцца;
- рамачнага і вібратарнага выпраменьвальніка, які дазваляе пашыраць паласу частот і каэфіцыент накіраванасці вібратарнай антэны;
- рамачных і лінейных выпраменьвальнікаў, які дазваляе пашыраць паласу частот драцяной антэны бегучай хвалі;

Запрапанавана схема пабудовы лінійнай аненнай рашоткі з разамкнутых рамачных выпраменьвальнікаў яка мае ізатропную дыяграму накіраванасці у электрычнай плоскасці; распрацаваны чысловай мадэлі новых канструкцый антэн на аснове інтэгральнага ураўнення (IV) для току у тонкіх дротах, праведзена аптымізацыя вылічальных працэдур развязання (IV), праведзена вылічальнае даследаванне распрацаваных новых канструкцый антэн і усталяваны заканамернасці залежнасці электрычных характэрныя і параметраў антэн ад іх геаметрычных параметраў і частаты.

Вынікі работы могуць быць выкарыстаны пры праектаванні шырокапалосных драцяных антэн сучасных сістэм радыялакацыі, радыянавігацыі, сістэм тэлевізійнага вясчання і іншых радыятэхнічных сістэм.

SUMMARY
Yuri Y. Bobkov

BROADBAND WIRE ANTENNAS BASED ON LOOP AND DIPOLE
RADIATORS

Key words: antennas, integral equations for the current, Galerkin method, basis functions, loop-dipole antennas, linear antenna arrays.

Subject of investigation is new meter and decimeter wavelength wire antenna designs, based on combination of loop radiators and dipole radiators. This new antenna designs have advantages in comparison with conventional loop antennas and dipole antennas: more wide work frequency band; possibility to design of linear antenna arrays without power distribution systems which work with vertical or horizontal polarization, including omnidirectional in electrical plane antenna array, based on the same; possibility to design of traveling-wave antennas with asymmetrical input.

Purpose of work is wire antennas, with improved bandwidth and directional gain properties, designed by method based on the combination of loop radiators and dipole radiators and investigation this antennas.

Investigation method is numerical experiment.

Main results. The way of integration of radiator in form broken loop with dipole radiator was proposed. This way permit to increase antenna bandwidth and to design antennas for work in two or three frequency bands with substantially separated central frequencies.

The way of integration of loop radiators with dipole radiators, which permit to increase wire traveling-wave antennas bandwidth, was proposed.

Circuit linear antenna array with have omnidirectional pattern in electrical plane composed from broken loop radiators was proposed.

The new antenna designs mathematical models based on integral equation for the current in thin wire is designed. The integral equation calculation procedure optimization was carry out.

The numerical investigation of new antenna designs and discovering of electrical antenna characteristics dependents from frequency and geometrical antenna parameters was carry out.

The results of work are useful for design broadband wire antennas for modern radar systems, radio navigation systems, TV and radio broadcasting and other systems.

Бобков Юрий Юрьевич

**ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПРОВОЛОЧНЫЕ АНТЕННЫ
НА ОСНОВЕ РАМОЧНЫХ И ВИБРАТОРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

05.12.07 — Антенны, СВЧ устройства и их технологии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать	01.10.2004.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.		Усл. печ. л. 1,16.
Уч.-изд. л. 1,0.	Тираж 80 экз.		Заказ 588.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004. 220013,
Минск, П. Бровки, 6.