

На правах рукописи

Панько Василий Сергеевич

**РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ
КРИВОЛИНЕЙНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР**

01.04.03 – Радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Красноярск, 2007 г.

Работа выполнена на кафедре Радиофизики Политехнического института ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет».

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Саломатов Юрий Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Беляев Борис Афанасьевич,
кандидат физико-математических наук
директор НПП фирма «Электрон»
Владимиров Валерий Михайлович

Ведущая организация ФГУП «Научно-производственное объединение
прикладной механики им. академика М.Ф. Решетнева», г. Железногорск

Защита состоится 14 ноября 2007 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д212.099.04 при ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660074, Красноярск, ул. акад. Киренского, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет».

Автореферат разослан 14 октября 2007 г.

И.о. ученого секретаря

Диссертационного совета Д212.099.04

доктор технических наук, профессор

В.Г. Патюков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Современные требования к радиотехническим системам передачи и извлечения информации включают в себя необходимость работы в различных диапазонах радиочастот или при различных плоскостях поляризации сигнала. Реализация таких требований на сегодняшний день обеспечивается, как правило, комбинированием нескольких антенных систем, каждая из которых выполняет одну функцию. Так, например, для приема сигналов с различными плоскостями поляризации необходимо использование двух отдельных антенн, выходные сигналы которых суммируются.

Теория и практика антенн и излучающих систем получили глубокое развитие в трудах российских и зарубежных исследователей. Вместе с тем, имеются области, недостаточно проработанные для обеспечения возможности широкого практического применения на фоне существенной перспективной востребованности. К этим областям относятся объединение различных функций, выполняемых единой излучающей системой, в частности работа в двух произвольно разнесенных диапазонах частот, одновременный прием/передача сигналов в двух различных плоскостях поляризации.

Вибраторные антенны, элементы которых расположены в одной плоскости, глубоко исследованы, как теоретически, так и экспериментально, и широко используются на практике. Однако, существует необходимость в исследовании криволинейных антенн, перспективных для решения поставленных задач. Многочастотность антенн может быть обеспечена либо синтезом собственно многочастотной антенны, либо использованием реактивных устройств многочастотного согласования.

Методы многочастотного согласования, также давно привлекающие внимание многих исследователей, либо обладают избыточностью относительно требуемого наиболее часто на практике двухчастотного согласования при работе антенны на передачу и прием в двух частотных диапазонах передачи информации, либо требуют предварительного приведения произвольной нагрузки к многорезонансному (двухрезонансному) типу.

Средства вычислительной техники широко применяются при расчете характеристик излучающих систем в связи со значительной трудоемкостью расчетных процессов. Однако каждая из известных программ обеспечивает достижение конкретной цели в рамках интересов разработчика. Поэтому необходимы программные пакеты автоматизированного анализа характеристик антенн, интегрированные с пакетами, рассчитывающими согласующие системы и позволяющие с позиций обобщения результатов предшественников и с учетом новейших достижений в сфере вычислительной техники, повысить эффективность деятельности пользователя.

Цель работы. Целью диссертации является исследование комплекса вопросов по созданию многофункциональных проволочных излучающих структур, работающих в двух плоскостях поляризации и/или в двух частотных диапазонах.

Задачи. В соответствии с поставленной целью в диссертации решаются следующие задачи:

1. Исследование криволинейных и пространственных (объемных) вибраторных антенн для обеспечения одновременной работы в двух плоскостях поляризации и/или в двух частотных диапазонах.

2. Разработка методов двухчастотного согласования произвольных

комплексных нагрузок с линиями передачи.

3. Разработка автоматизированных программных средств для расчета характеристик излучающих структур в совокупности с согласующими устройствами.

Методы исследований. В диссертации применены теоретические и экспериментальные методы исследований. Использован математический аппарат теории радиосигналов и электрических цепей, электродинамики, спектрального анализа, классические разделы математического анализа и линейной алгебры, методы решения интегральных уравнений и численные методы.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Криволинейная вибраторная антенна N-образной формы обеспечивает возможность работы с двумя поляризациями сигнала в двух частотных диапазонах.

2. Криволинейная антенна модифицированной V-образной формы обеспечивает КНД не ниже 7 dBi в двух диапазонах частот с регулируемым разнесением по частоте.

3. Методы и схемы согласования произвольных комплексных нагрузок с линиями передачи в двух частотных диапазонах, обеспечивающие построение пяти схем согласования.

4. Пакет прикладного ПО для автоматизированного анализа характеристик излучающей системы совместно с согласующими цепями с использованием баз данных.

Научная новизна. Новыми являются следующие результаты работы:

1. Впервые предложены и исследованы конструкции криволинейных антенн S-образной, N-образной, модифицированной V-образной формы,

обеспечивающие работу в двух частотных диапазонах и/или двух плоскостях поляризации.

2. Впервые предложены методы двухчастотного согласования произвольной комплексной нагрузки с помощью двухконтурной линейной цепи или вариантов двойного Г-звена.

3. Разработан программный пакет для автоматизированного анализа и синтеза одно – и двухчастотных антенных систем совместно с согласующими цепями с расширенным представлением результатов моделирования (табличное, двух- и трехмерная графика) и возможностью комплексирования с известными пакетами прикладных программ.

Практическая значимость работы и реализация результатов. Результаты исследований криволинейных вибраторов, а также двухчастотных согласующих устройств, явились основой для разработки и мелкосерийного производства антенн, обладающих повышенным коэффициентом усиления, возможностью работы в двух частотных диапазонах приема сигналов и/или в двух плоскостях поляризации.

Разработанные программные средства позволяют моделировать и синтезировать вибраторные антенные системы в двухчастотном режиме.

Результаты исследований, выполненных в диссертационной работе, использованы в промышленности и учебном процессе на кафедре Радиофизики Политехнического института Сибирского федерального университета, что подтверждается соответствующими Актами, приложенными к работе.

Достоверность. Достоверность результатов подтверждается строгими математическими доказательствами, совпадением результатов, полученных различными авторами и различными путями, корректным моделированием

на ЭВМ, соответствие полученных в диссертации выводов и рекомендаций результатам экспериментальных исследований лабораторных макетов и серийных образцов антенных систем.

Апробация диссертационной работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на 15 научно-технических конференциях, в т.ч. на III международной научно-технической конференции «Новые информационные технологии и системы», Пенза, ПГТУ, 1996 г.; «Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов», Красноярск, 1997 г.; Второй Всероссийской студенческой научно-технической конференции «Информационные технологии и электроника», Екатеринбург 1997 г.; Международной научно-технической конференции и выставке «Спутниковые системы связи и навигации» Красноярск, 1997 г.; III Международной научно-технической конференции «Антенно-фидерные устройства, системы и средства радиосвязи» Воронеж, 1997 г.; IV Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» НГТУ, Новосибирск, 1998 г.; International Technology Transfer Conference (ИТТ-98). Iowa State University, USA, 1998.; Всероссийской с международным участием научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники», КГТУ, Красноярск, 1998 г. (три доклада); 8-ой международной крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМи-Ко'98)», СГТУ, Севастополь, 1998 г.; Всероссийской с международным участием научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники». КГТУ, Красноярск, 1998, 1999, 2002, 2003, 2006 г.г.; IV Международной научно-технической конференции «Антенно-фидерные устройства, системы и сред-

ства радиосвязи», Воронеж, 1999 г.; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и выставке «Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов», Красноярск, 1999 г., Второй IEEE-Российской конференции «1999 микроволновая электроника: измерения, идентификация, применения» Новосибирск, НГТУ, 1999 г.

Опубликованы статьи в Вестнике Красноярского государственного технического университета, выпуск 15 «Радиоэлектроника. Связь. Физика». Красноярск, 1998 г. и в сборнике научных трудов Красноярского государственного технического университета, Красноярск, 2002 г. Одна статья опубликована в издании по списку ВАК (Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета №3(16), 2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 работы, из них 18 – в материалах научно-технических конференций. Основное содержание работы отражено в публикациях, перечень которых приведен ниже.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа выполнена на 137 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 82 наименований и 4 страниц приложений.

В основу диссертации положены результаты научно-исследовательских работ, выполненных автором и при его непосредственном участии на кафедре Радиофизики Политехнического института Сибирского федерального университета.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит общую характеристику работы, в которой обосновывается актуальность тематики, формируются цели и задачи исследования,

определены практическая ценность работы, сведения об апробации, приведены элементы новизны и защищаемые положения. Приводится краткое описание работы.

Первая глава посвящена аналитическому исследованию теоретического и практического состояния вопроса в настоящее время. Делается акцент на особенностях криволинейных пространственных вибраторных антенн. Рассмотрено несколько типов антенн с криволинейными вибраторами: V-образная, гиперболическая антенны, оптимизированный вибратор, двухдиапазонная антенна Mor-Gain, антенна типа «меандр» и ряд фрактальных антенн. Показано, что пространственное разнесение элементов вибраторной антенны, а также использование криволинейных вибраторов, обеспечивают достижение более высоких значений КНД. Класс криволинейных вибраторных антенн не исчерпывается перечисленными образцами, что требует проведения дальнейших исследований, направленных на повышение эффективности. Кроме того, необходима оценка функционирования криволинейных антенных систем в двухчастотном режиме приема/передачи.

Анализ существующих методик согласования нагрузки с линией передачи показал, что имеются резервы повышения эффективности, поскольку либо согласующая цепь существенно усложняется, либо, при разнесении рабочих диапазонов, ухудшается уровень согласования. Поэтому стоит задача теоретического обоснования и разработки схем двухчастотных согласующих устройств с произвольным разнесением по частоте полос передачи и приема.

Во **второй главе** исследуются предложенные криволинейные вибраторные антенны, обладающие расширенными функциональными возможностями перед обычными прямолинейными вибраторами.

Разработано ПО, предназначенное для расчета диаграмм направленности (ДН) изогнутых вибраторов в разных плоскостях. Предварительное исследование и синтез вариантов антенн производился с помощью данного ПО, окончательный анализ с помощью программ GNEC и MININEC expert.

Проведены измерения ДН исследованных в главе 2 антенн с помощью измерительной установки, собранной на базе антенны П6-33 и селективного микрольтметра, разработано ПО для обработки и построения результатов измерений, расчетные и измеренные ДН приведены в тексте работы.

Рассмотрена антенна S-образной формы, предложенная в [7], плечо которой состоит из трех соединенных под прямым углом отрезков

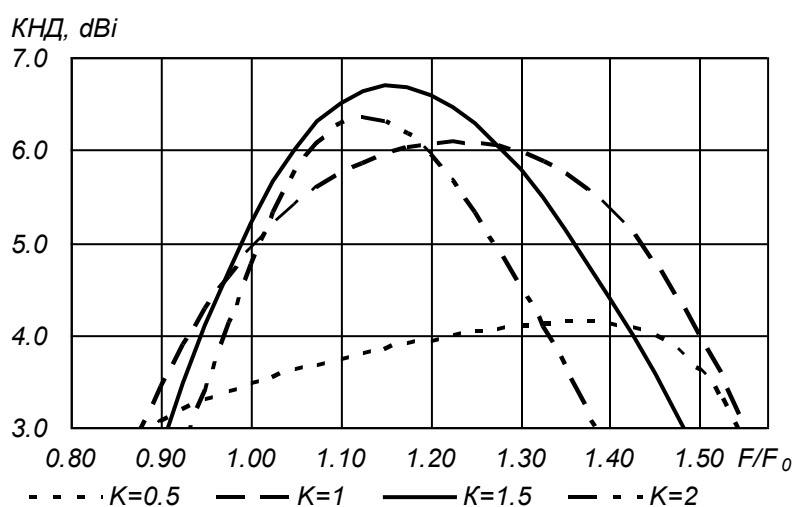


Рис.1. КНД S-образных антенн

длиной a и b , конфигурация антенны определяется параметром $K = \frac{a}{b}$. Рассчитаны зависимости КНД(f) для нескольких конфигураций (рис. 1), определено, что наивысший КНД = 5,2 dBi достигается при $K = 1,5$.

Проанализирована описанная в [15] двухдиапазонная изогнутая антенна N-образной формы (рис. 2), имеющая параметры $\alpha = 90^\circ$, $AC = 2OA = 2OD = DF = \frac{2}{3}L$,

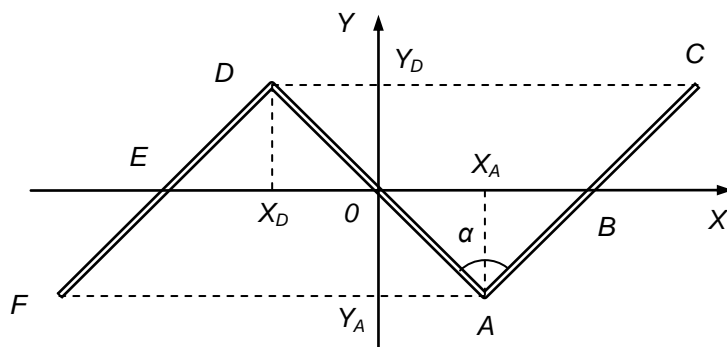


Рис.2. N-образная антенна

L – длина плеча антенны. Антенна работает в двух частотных диапазонах.

Амплитудно-фазовое

распределение тока по длине антенны таково, что в низкочастотном диапазоне антенна эквивалентна горизонтальному вибратору. В высокочастотном диапазоне не возрастает КНД антенны при вертикальной плоскости поляризации до 5,6 dBi (рис. 3).

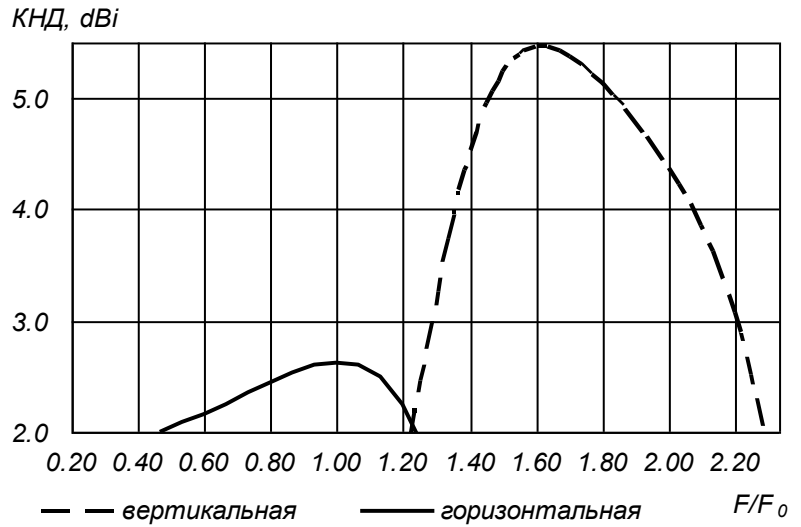


Рис. 3. КНД N-образной антенны

Рассмотрена предложенная в [10] антенна модифицированной V-образной формы (рис. 4), описываемая параметрами $K = \frac{a}{b}$, $a = \frac{KL}{1+K}$, $b = \frac{L}{1+K}$.

Анализ распределения тока при показывает, что на линии X_1 формируется близкое к постоянному фазовое распределение поля, т.е. аналог линейной апертуры, приводящий к концентрации излучения в направлении оси X и повышению усиления. Проведены исследования зависимости усиления от конфигурации

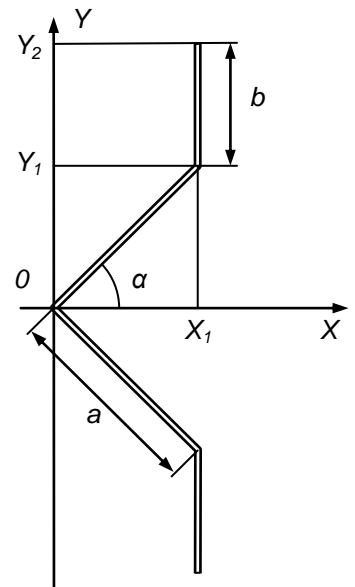


Рис. 4. Модифицированная V-образная антенна

антенны. Показано, что антенна имеет два диапазона рабочих частот, где достигается высокий КНД, причем «расстояние» между диапазонами изменяется при вариациях K и α (рис. 5, рис. 6). В низкочастотном диапазоне максимальный КНД = 7,21 dBi соответствует $K = 1,5$.

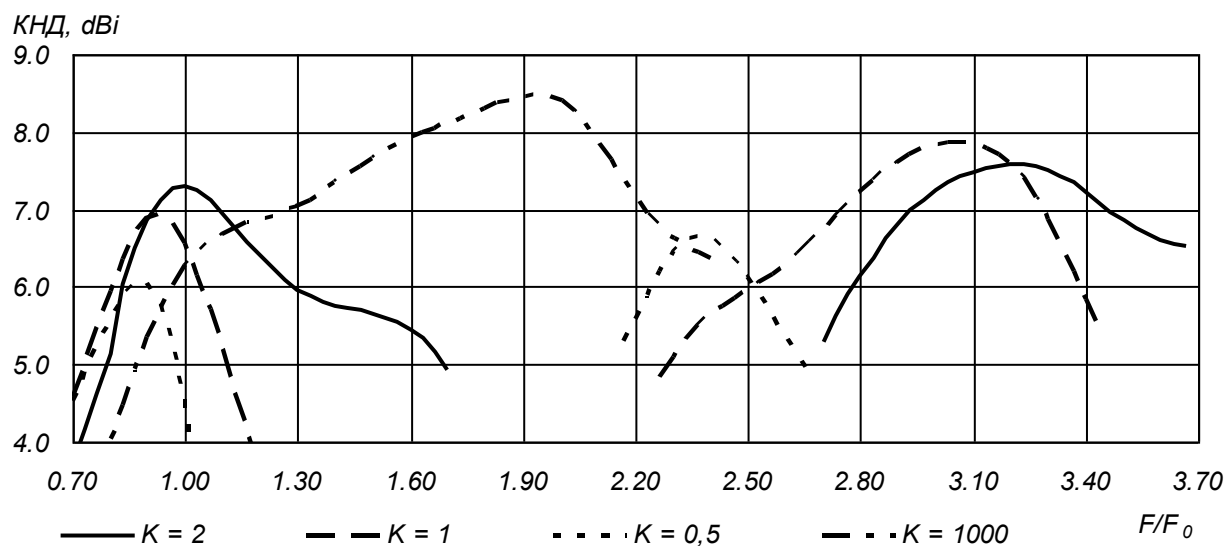


Рис.5. КНД модифицированной V-антенны для разных K при угле раскрыва 45°

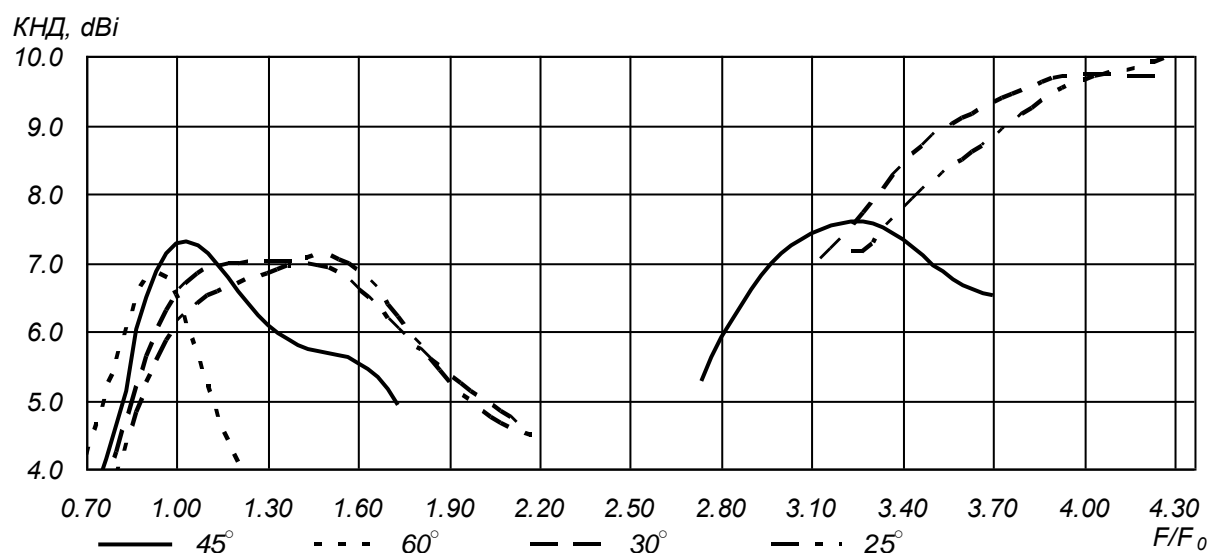


Рис. 6. КНД модифицированной V-антенны для разных углов раскрыва при $K = 1,5$

Третья глава посвящена исследованию схем двухчастотного согласования комплексных нагрузок с линией передачи. Предложено два метода, базирующихся на методике одночастотного согласования комплексных нагрузок с помощью Г-звеньев, дающей для любой нагрузки два типа согласующих звеньев.

Первый метод, предложенный в [5], основывается на замене элементов Г-звена колебательными контурами. Рассчитав должным образом элементы контуров, можно получить составленную из двух контуров цепь, в которой

контуры на одной частоте эквивалентны элементам одного Г-звена, а на другой частоте – элементам другого Г-звена. Выражения для элементов контуров следуют из условия равенства сопротивлений контура и сопротивлений заменяемых элементов:

параллельный контур

$$C = \frac{Z_1\omega_2 - Z_2\omega_1}{Z_1Z_2(\omega_1^2 - \omega_2^2)} \quad L = \frac{Z_1}{\omega_1(1 + Z_1\omega_1C)} = \frac{Z_2}{\omega_2(1 + Z_2\omega_2C)}$$

последовательный контур

$$C = \frac{\omega_1^2 - \omega_2^2}{\omega_1\omega_2(Z_1\omega_2 - Z_2\omega_1)} \quad L = \frac{1 + Z_1\omega_1C}{\omega_1^2C} = \frac{1 + Z_2\omega_2C}{\omega_2^2C}$$

где L, C – элементы контуров, Z_1, Z_2 – сопротивления заменяемых элементов на частотах согласования ω_1, ω_2 . Как следует из базового способа согласования Г-звеньями, для каждой нагрузки могут быть сформированы два звена, элементы которых разнотипны, т.е. одно из звеньев имеет в параллельной цепи индуктивность, в последовательной емкость, второе звено – наоборот. При согласовании нагрузки на двух частотах будут получены четыре звена, по два для каждой частоты согласования. Из последовательности элементов в звеньях и ограничений на физическую реализуемость элементов следует, что

из четырех полученных звеньев два могут быть объединены в двухконтурную цепь.

Таким образом, метод дает одну согласующую цепь (СЦ) для произвольных нагрузки и частот согласо-

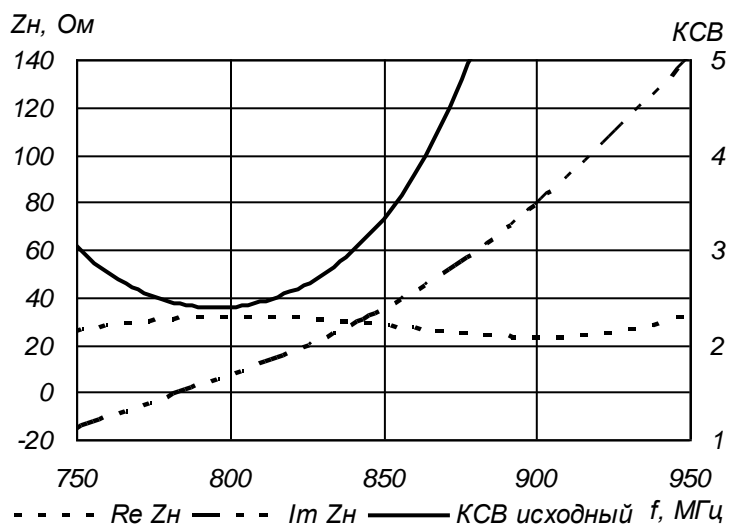


Рис. 7. Сопротивление нагрузки

ния. Для иллюстрации проведено согласование нагрузки, график которой показан на рис. 7. Полученная двухконтурная цепь, исходный КСВ и КСВ после согласования приведены на рис. 8.

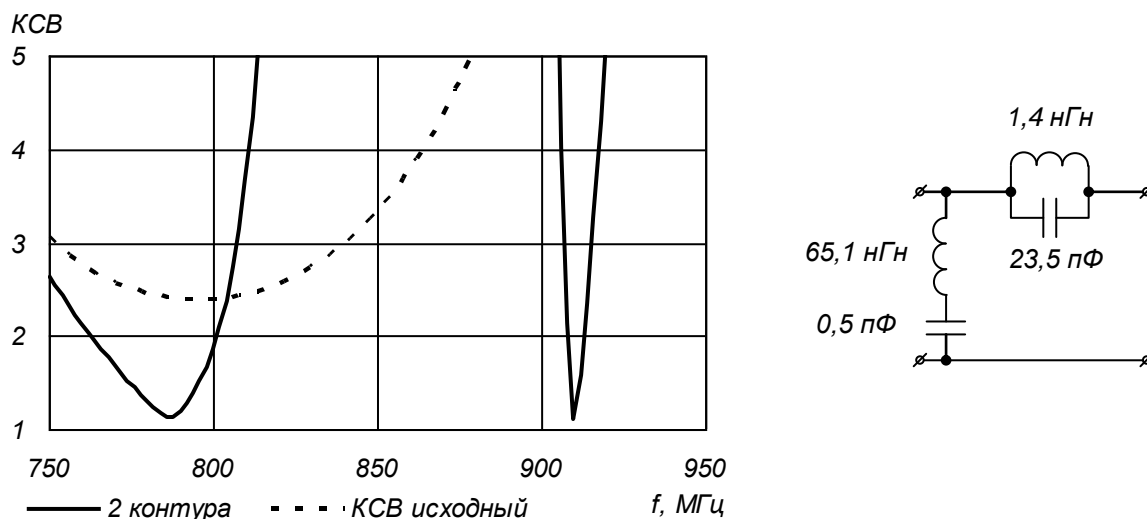


Рис. 8. Согласование двухконтурной цепью

Второй метод согласования [23] также основан на применении Г-звеньев. Аналогично предыдущему, суть заключается в замене элементов согласующего Г-звена колебательными контурами. В отличие от предыдущего метода, используются резонансы контуров:

$$X_{LSCS}(f_1) = X_{C1}(f_1) \text{ и } X_{LSCS}(f_2) = 0$$

$$X_{LPCP}(f_1) = X_{L1}(f_1) \text{ и } X_{LPCP}(f_2) = \infty$$

Исходя из указанных условий, элементы контуров:

параллельный $C = \frac{1}{Z} \frac{\omega_1}{\omega_0^2 - \omega_1^2}, L = \frac{1}{\omega_0^2 C},$

последовательный $C = \frac{1}{Z} \frac{\omega_1^2 - \omega_0^2}{\omega_1 \omega_0^2}, L = \frac{1}{\omega_0^2 C},$

Z – сопротивление элемента, который должен быть заменен контуром. Преобразование элементов в контур ограничено условиями физической реализуемости. Для параллельного контура: либо $Z < 0$ и $\omega_0 < \omega_1$, либо $Z > 0$ и $\omega_0 > \omega_1$ (контур представляет индуктивность на частоте ниже резонансной

или емкость выше резонансной). Для последовательного контура: либо $Z < 0$ и $\omega_0 < \omega_1$, либо $Z > 0$ (контур представляет индуктивность на частоте, выше резонансной или емкость ниже резонансной).

Для построения СЦ сначала проводится согласование нагрузки Г-звеньями на частоте f_1 . Для полученных звеньев рассчитываются входные сопротивления $Z_{Г1}, Z_{Г2}$ с подключенной нагрузкой на частоте f_2 . Сопротивления $Z_{Г1}, Z_{Г2}$ согласуются Г-звеньями на второй частоте f_2 . Из полученных четырех звеньев, исходя из условий физической реализуемости, выбираются два с нужным типом элементов в последовательной цепи. Элементы выбранных звеньев заменяются контурами согласно приведенным формулам. Г-звенья, полученные на первом шаге и звенья, дополненные до контуров, составляются каскадно, однотипные элементы, находящиеся рядом, объединяются. В результате формируются две СЦ, обеспечивающие согласование на двух частотах. Для получения еще двух цепей значения частот меняются местами.

Метод иллюстрируется рис. 9 и 10, где показано согласование нагрузки с теми же исходными данными, что и для предыдущей методики двухконтурной цепи.

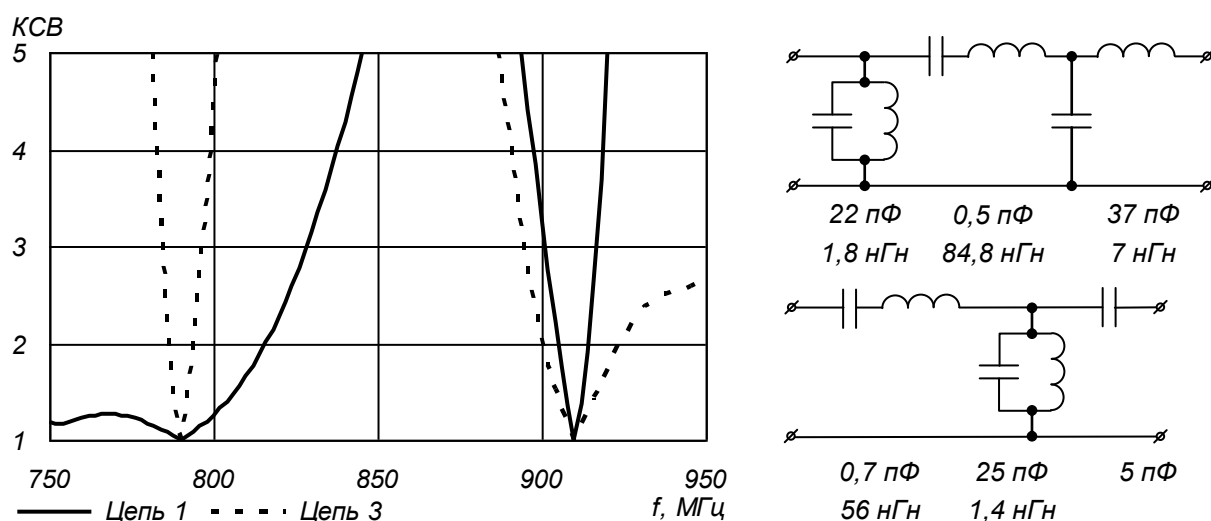


Рис. 9. Согласование цепями 1 и 3

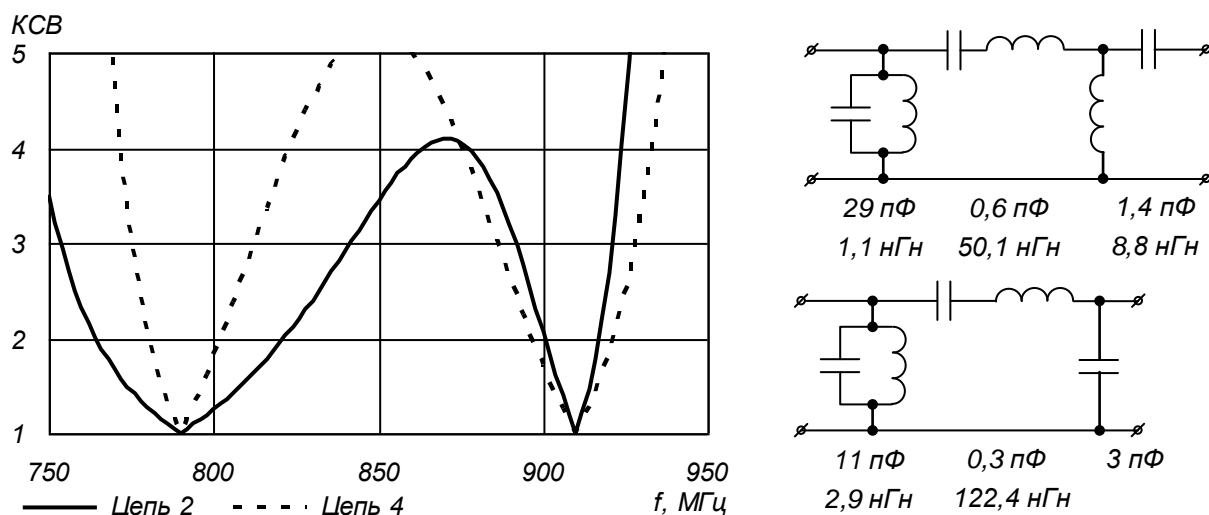


Рис. 10. Согласование цепями 2 и 4

Четвертая глава описывает разработанный программный пакет, предназначенный для анализа систем, содержащих антенну с подключенной согласующей цепью. Современная версия пакета описана в [21], этапы его развития в [1], [2] [8], [11]. При проектировании пакета учитывались возможности и недостатки известных средств анализа антенн, что оказало влияние на постановку и решение задач разработки.

Описываются математические модели, примененные в вычислительной части пакета: метод обобщенных наведенных ЭДС и метод интегрального уравнения для расчета характеристик антенны, матричные уравнения для нахождения параметров согласующей цепи и А-матрицы элементов, входящих в цепь.

Рассматривается структура и функционирование системы управления и работы с базами данных (БД), предназначенной для систематизации и хранения разработанных конструкций. В составе БД присутствует три связанные таблицы, сохраняющие информацию о проекте в целом, о вибраторах антенны, об элементах согласующей цепи. При работе с БД используется механизм запросов, позволяющий осуществлять выбор (фильтрацию) интере-

сующих конструкций по широкому диапазону параметров.

Пакет предоставляет следующие возможности:

1. Производить расчет объемных вибраторных антенн, состоящих из произвольно расположенных элементов по модели обобщенных наведенных ЭДС и интегрального уравнения с помощью метода моментов.

2. Анализировать в комплексе антенну и подключенную к ней согласующую цепь, и получать сквозные характеристики антенно-фидерного тракта, вплоть до входа приемника (передатчика). В состав согласующей цепи могут быть включены параллельные и последовательные индуктивности и емкости, контуры, шлейфы и отрезки линий передачи.

3. Рассчитывать большое количество характеристик анализируемых конструкций: КНД, входное сопротивление и КСВ антенны и согласующей цепи, заднее излучение, ДН в двух плоскостях, ширину главного лепестка ДН, ширину полосы частот по различным параметрам.

4. Отображать рассчитанные результаты в различном виде: таблицах, полярных, усеченных полярных и декартовых графиках, трехмерных изображениях (конструкция антенны), удобных для просмотра и документирования.

5. Проводить комплексную оптимизацию антенны и согласующей цепи, задавая сложные целевые функции.

6. Проводить автоматическое двухчастотное согласование по описанным в Главе 3 методикам.

7. Взаимодействовать с другими распространенными программами анализа антенн и прочими приложениями, для чего обеспечивать возможность импорта/экспорта информации в различных форматах (буфер обмена,

текстовые файлы, файлы формата NEC-2, NEC-4, MININEC, и др.).

Пакет снабжен встроенной системой помощи и сопровождается документацией. Приводится краткое описание графического интерфейса и приемов работы с пакетом.

В **Заключении** содержатся основные результаты работы.

В **Приложении** приведены копии актов внедрения результатов исследований, проведенных в работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Предложенные криволинейные проволочные антенны обеспечивают работу в двух плоскостях поляризации и/или двух диапазонах частот. Разработано программное обеспечение для расчета характеристик криволинейных антенн и обработки результатов измерений ДН. Рассмотрено влияние параметров антенн на частотные характеристики КНД, выявлены наиболее эффективные с точки зрения КНД конструкции. Проведены экспериментальные исследования образцов криволинейных антенн.

2. Разработаны два метода двухчастотного согласования произвольных комплексных нагрузок с линией передачи: с помощью двухконтурной цепи и двойных Г-звеньев. Составлены алгоритмы согласования, введенные в разработанный программный пакет.

3. Разработан программный пакет анализа и синтеза вибраторных антенных систем совместно с согласующими цепями. Пакет позволяет производить расчеты большого числа характеристик системы и представлять их в различном виде. В пакете реализованы функции, отсутствующие в других известных программных средствах: совместный анализ антенны и согласующей цепи, система управления и работы с базами данных.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Панько, В.С. Программа расчета директорных антенн / В.С. Панько, Ю.П. Саломатов // Труды III Международной НТК «Антенно-фидерные устройства, системы и средства радиосвязи» (Воронеж-май-97). Воронеж, 1997. С. 45.
2. Pan'ko, V.S. Programs for designing dipole antennas (including non-planar), curved vibrators and antenna arrays assembled from them / Yu.P. Salomaton, V.S. Pan'ko // Proceedings of International Technology Transfer Conference (ITT-98). Iowa State University, USA, 1998. P. 68.
3. Панько В.С., Саломатов Ю.П., Овечкин В.Г. Программные средства проектирования вибраторных антенных решеток. Материалы второй IEEE-российской конференции «1999 Микроволновая электроника: измерения, идентификация, применения» (ИИП-МЭ'99). Новосибирск, НГТУ, 1999.
4. Панько, В.С. Исследование проволочных антенн / В.Г.Овечкин, В.С. Панько, Ю.П. Саломатов, А.В. Самонин // Вестник Красноярского государственного технического университета. Выпуск 15. Радиоэлектроника, связь, физика. Красноярск, 1998. С. 76.
5. Панько, В.С. Многочастотное согласование для увеличения помехозащищенности широкополосных антенн / Ю.П. Саломатов, В.С. Панько, В.Г. Овечкин, Л.С.Исаенко // Труды IV международной НТК «Антенно-фидерные устройства, системы и средства радиосвязи (Воронеж-май-99)». Воронеж, 1999. С. 162.
6. Панько, В.С. Антенны для улучшенного телевизионного приема / Ю.П.Саломатов, В.С.Панько, В.Г.Овечкин // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием и выставка «Достижения

науки и техники – развитию сибирских регионов». Красноярск, 1999. С.108.

7. Панько, В.С. Многофункциональные проволочные антенны / Ю.П. Саломатов, В.С. Панько, А.В. Самонин // Научно-практическая конференция и выставка «Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов». Красноярск, 1997. С.59.

8. Панько, В.С. Система проектирования директорных антенн и решеток из них / В.С. Панько В.С., Ю.П. Саломатов // Труды второй всероссийской студенческой НТК «Информационные технологии и электроника» Екатеринбург, 1997. С.202.

9. Панько, В.С. Проектирование объемных проволочных антенн / В.Г.Овечкин, В.С. Панько, Ю.П. Саломатов // Труды 8-й международной крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'98)». Севастопольский государственный технический университет, Украина, 1998. С.79.

10. Панько, В.С. Криволинейные вибраторы с повышенным коэффициентом усиления / В.Г.Овечкин, В.С. Панько, Ю.П. Саломатов // Труды IV международной НТК «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-98)» Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, 1998. С.124.

11. Панько, В.С. Программный комплекс для проектирования вибраторных антенн / В.С. Панько, Ю.П. Саломатов // Труды всероссийской с международным участием НТК молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники». КГТУ, Красноярск, 1998. С.117.

12. Панько, В.С. Сравнение математических моделей петлевого вибратора / В.Г. Овечкин, В.С. Панько, Ю.П. Саломатов // Труды всероссийской с

международным участием НТК молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники». КГТУ, Красноярск, 1998. С.59.

13. Панько, В.С. Исследование широкополосных директорных антенн с высоким усилением / С.А. Гурин, В.Г.Овечкин, В.С. Панько, А.В.Самонин, Ю.П. Саломатов // Труды всероссийской с международным участием НТК молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники». КГТУ, Красноярск, 1998. С. 89.

14. Панько, В.С. Программный комплекс для анализа характеристик антенно-фидерного тракта / В.Г. Овечкин, В.С. Панько, Ю.П. Саломатов // Труды всероссийской с международным участием НТК молодых ученых и студентов «Современные проблемы радиоэлектроники». КГТУ, Красноярск, 1999. С.115.

15. Панько, В.С., Саломатов Ю.П. Исследование проволочных антенн S, V, N-формы / В.С. Панько, Ю.П. Саломатов // Труды международной НТК «Спутниковые системы связи и навигации» Красноярск, 1997. С.192.

16. Панько, В.С. Анализ и синтез антенн СВЧ / В.С. Панько, П.Л. Подгурский, Ю.П. Саломатов // Труды III международной НТК «Новые информационные технологии и системы». Пенза, 1996. С.16.

17. Панько, В.С. Информатизация лабораторных работ по курсу «Антенны СВЧ»/ Саломатов Ю.П., В.С. Панько // Сб. науч. тр. международной НТК «Новые информационные технологии в университетском образовании». Кемерово. 2002. С.103.

18. Панько, В.С. Исследование схем построения двухдиапазонных проволочных антенн / Ю.П. Саломатов, В.С. Панько, Д.С. Моргачев. Международная НТК и Российская научная школа молодых ученых и специалистов

«Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных, электронных и лазерных технологий». Сочи, 2002.

19. Панько, В.С. Двухчастотные антенны типа «волновой канал» / Ю.П. Саломатов, Д.С. Моргачев, В.С. Панько. Сб. науч. тр. Современные проблемы радиоэлектроники / Гл. ред. А.И. Громыко. Красноярск, 2003. С.175.

20. Панько, В.С. Разработка цепи согласования антенны СВ диапазона / Ю.П. Саломатов, М.Н. Суслопаров, В.С. Панько. Сб. науч. тр. «Современные проблемы радиоэлектроники» / Гл. ред. А.И. Громыко. Красноярск. 2003. С.178.

21. Панько, В.С. Программа расчета директорных антенн / Ю.П. Саломатов, К.А. Величко, В.С. Панько. Сб. науч. тр. «Современные проблемы радиоэлектроники» / Гл. ред. А.И. Громыко. Красноярский государственный технический университет. Красноярск. 2006. С.205.

22. Панько, В.С. Исследование двухчастотных антенн типа «волновой канал» / Саломатов Ю. П., Моргачев Д.С., Панько В.С. Сб. науч. тр. «Современные проблемы радиоэлектроники» / Гл. ред. А.И. Громыко. Красноярский государственный технический университет. Красноярск. 2002. С.105.

23. Панько, В.С. Двухчастотное согласование комплексных нагрузок с помощью двойного Г-звена / Саломатов Ю.П., Панько В.С. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета №3(16), 2007. с.106.