

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 621.396.67

ШКУТ
Артем Иванович

МАЛОГАБАРИТНЫЕ МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ АНТЕННЫ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии
проектирования электронных систем

Минск 2018

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **Лихачевский Дмитрий Викторович**,
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **Полозков Юрий Владимирович**,
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем учреждения образования «Белорусский национальный технический университет »

Защита диссертации состоится «27» января 2018 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

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

ВВЕДЕНИЕ

Одной из тенденций в развитии радиоэлектроники является уменьшение размеров персональных устройств и уплотнение размещения внутренних элементов. Эта тенденция делает актуальной задачу миниатюризации радиоэлектронных компонентов, в том числе и антенн, применяемых в различных персональных средствах связи.

В литературе обсуждается множество различных вариантов малогабаритных печатных антенн (ПА), общее количество которых исчисляется сотнями. В этих антеннах миниатюризация достигается различными способами. Среди них можно выделить два хорошо изученных метода. Первый из них связан с увеличением диэлектрической проницаемости подложки ПА, а второй с усложнением ее конструкции за счет изменения топологии полоскового проводника. Сравнительно недавно был предложен третий способ миниатюризации, связанный с увеличением числа слоев, на которых расположены проводники ПА.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Печатные антенны (ПА) активно исследуются, с середины XX века. Одновременно с появлением ПА возникла задача их миниатюризации, которая приобрела дополнительную актуальность в связи с интенсивным развитием мобильной аппаратуры. Такие устройства предъявляют жесткие требования к габаритным показателям качества (ПК), используемых в них антенн.

Уменьшение размеров антенны является противоречивым процессом, который неизбежно приводит к ухудшению других ПК: росту добротности и снижению коэффициента полезного действия (КПД). Известно соотношение между добротностью и размерами излучателя, получившее название критерия Чу. Это соотношение устанавливает потенциально достижимый предел миниатюризации антенны.

Особенностью проектирования ПА является очень большое количество известных конструкций ПА. При этом разные классы ПА находятся на разных стадиях их исследования и практического использования. Среди миниатюрных ПА можно выделить три класса технических решений: ПА классических форм, малогабаритные однослойные ПА и малогабаритные многослойные ПА. Наименее изученным классом ПА являются малогабаритные многослойные антенны, поскольку они были предложены сравнительно недавно и еще недостаточно исследованы.

Из множества ПА принято выделять ПА круговой поляризации, имеющие существенную специфику и большую практическую значимость. Важной задачей проектирования ПА круговой поляризации является выбор схемы ее возбуждения. Существование нескольких схем такого типа дополнительно увеличивает количество вариантов построения ПА.

Наличие большого числа технических решений остро ставит перед разра-

ботчиками задачи объективного сравнения и выбора вариантов в наибольшей степени отвечающих конкретным требованиям технического задания. Указанные задачи невозможно решить без учета множества ПК.

Следует отметить, что до сих пор в данной области преимущественно развивались методы решения прямых задач анализа, когда по заданной совокупности параметров ПА определяется вектор ПК. В тоже время, задачи оптимизации, синтеза и сопоставления технических решений относятся к обратным задачам, методы решения которых в данной области техники развиты намного слабее.

Таким образом, можно сделать вывод об актуальности решения задач двух типов. Первая группа относится к исследованию новых конструкций ПА - многослойных малогабаритных антенн. Вторая группа связана с развитием методов оптимизации, синтеза параметров и сопоставления разных конструкций малогабаритных ПА с учетом совокупности ПК.

Степень разработанности проблемы

Исследование микрополосковых антенн, а также их необходимостью и миниатюризации были рассмотрены в работах Б.А. Панченко, Е.И. Нефедов, Л.С. Губкин и других авторов.

Авторами зарубежных работ, посвященных изучению компактности микрополосковых антенн, являются К.Л. Вонг, Л.Ж. Чу, С. Дэйв, Р. Миттра и другие.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является: развитие методов инженерного проектирования малогабаритных ПА на основе учета множества ПК и исследования новых конструкций многослойных малогабаритных ПА.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- провести исследование малогабаритных многослойных ПА;
- разработать методику векторной оптимизации ПА;
- провести сопоставление разных типов ПА линейной и круговой поляризации, а также схем их возбуждения по совокупности ПК;
- сформулировать рекомендации по использованию разных типов ПА.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

Решение обратных задач невозможно без многократного решения прямых задач анализа ПА, которые относятся к граничным задачам электродинамики. В работе эти задачи решаются с использованием современных средств электродинамического моделирования, использующих численные методы решения уравнений Максвелла. В работе рассматриваются вопросы адаптации универсальных ал-

горитмов для анализа данного класса объектов, исследуется их сходимость и влияние на решение различных параметров модели.

В качестве методической основой для решения обратных задач в работе использовалась теория векторной оптимизации (ВО). При выполнении основной процедуры ВО – поиска множества не худших (МНХ) решений использовался безусловный критерий предпочтения (БКП).

Информационная база сформирована на основе литературы, открытой информации, сведений из электронных ресурсов, технических нормативно-правовых актов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна диссертационной работы заключается в новых результатах исследования многослойных ПА круговой поляризации, в том числе анализом спектра их основных собственных колебаний, сопоставление разных типов ПА друг с другом и с критерием Чу.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Разработаны модели основных собственных колебаний двухслойных малогабаритных двухслойных печатных антенн полоскового и щелевого типов, позволяющие решать задачи инженерного проектирования малогабаритных печатных антенн.

2. Разработана методика ВО и параметрического синтеза ПА линейной и круговой поляризации с учетом двух ПК, а также схем возбуждения ПА круговой поляризации с учетом трех ПК. Двухслойная щелевая малогабаритная ПА круговой поляризации безусловно лучше двухслойной полосковой ПА и классической квадратной ПА в пространстве ПК добротность – площадь ПА и добротность – габаритные размеры ПА, а в пространстве ПК добротность – объем ПА двухслойная щелевая малогабаритная ПА конкурирует с классической квадратной ПА.

3. Одноточечная схема возбуждения ПА круговой поляризации эквивалентна двухточечной схеме.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней разработаны модели и предложены методики оптимизации и синтеза ПА.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что создан алгоритм и программа, реализующая ВО и параметрический синтез ПА линейной поляризации и круговой поляризации в совокупности со схемой питания.

Опубликование результатов диссертации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

Общий объем диссертационной работы составляет 75 страниц. Из них 61 страниц основного текста, 29 иллюстраций на 10 страницах, библиографический список из 52 наименований на 3 страницах, список собственных

публикаций соискателя из 6 наименований на 1 странице, 2 приложения на 8 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы миниатюризации печатных антенн, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются результаты обзора литературы по теме диссертации, определяется предмет исследования, обосновываются цели и задачи работы, определяется структура диссертации.

В обзоре литературы рассмотрены различные конструкции ПА и методы их миниатюризации. Выделены три типа ПА: ПА классических форм, в которых единственным средством уменьшения размеров является увеличение проницаемости диэлектрической подложки, малогабаритные однослойные ПА, использующие для сокращения габаритов только изменение формы двумерного полоскового проводника и малогабаритные многослойные ПА, использующие изменения конструкции по всем трем координатам за счет увеличения числа слоев.

Во **второй главе** подробно рассмотрены малогабаритные многослойные ПА круговой поляризации. Интерес к ним обусловлен тем, что антенны этого типа предложены сравнительно недавно и исследованы недостаточно глубоко. В тоже время, использованный в них оригинальный подход к миниатюризации

ПА представляет большой интерес. В диссертационной работе анализировались двухслойные антенны круговой поляризации. При этом рассматривались две основные модификации ПА: щелевая и полосковая, показанные на рисунке 1.

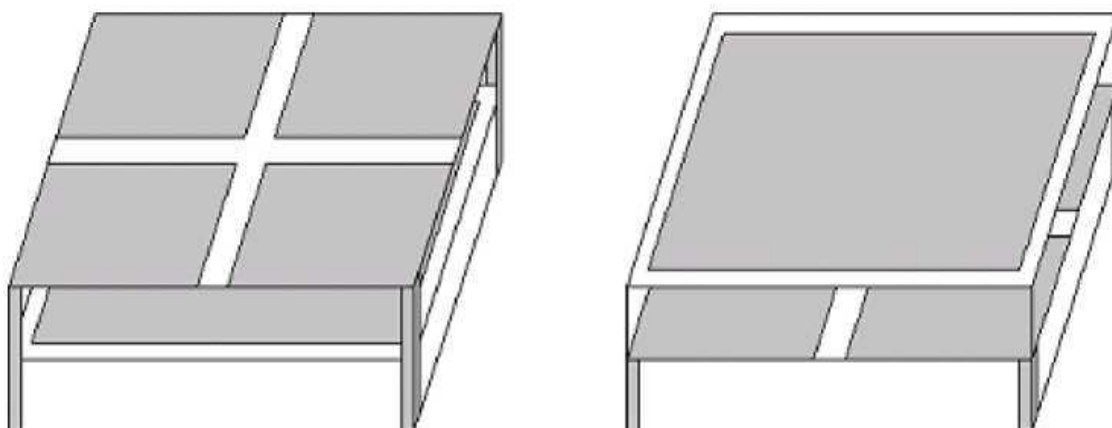


Рисунок 1 – щелевая и полосковая ПА

Исследование многослойных ПА включает следующие этапы: качественный

анализ собственных колебаний антенн с использованием метода симметрии, разработка приближенной модели ПА в виде эквивалентной схемы и ее применение для оптимизации антенны, численное исследование зависимостей ПК двухслойных ПА от их параметров, численное исследование возможностей подавления возбуждения паразитных колебаний полосковой ПА с помощью сложных схем возбуждения, оценка достоверности численной модели ПА.

Исследуемые ПА представляют собой структуры с двумя плоскостями симметрии. Поэтому их можно анализировать, вводя в соответствии с методом симметрии в указанные плоскости виртуальные электрические и магнитные стенки. Получаемые при этом парциальные структуры можно относительно просто анализировать качественно. В общем случае в обоих ПА могут существовать колебания HE , EH , HN и EE типов. Индекс E соответствует размещению в выделенной плоскости электрической стенки, а индекс H магнитной. Колебания HE и EH типов являются рабочими колебаниями, излучающими волны ортогональных линейных поляризации. Колебания HN и EE типов являются паразитными колебаниями. Учитывая, что узкие щели в полосковых проводниках влияют только на поперечные относительно их осей токи, делается вывод о том, что в щелевой ПА паразитные колебания имеют частоты, сильно отличающиеся от резонансных частот рабочих колебаний. В полосковой ПА колебание EE типа может иметь частоту близкую к частоте основных колебаний.

Для собственных колебаний ПА предложены модели в виде эквивалентных схем, которые позволяют на качественном уровне анализировать и оптимизировать ПА. С помощью указанных эквивалентных схем рассмотрена возможность уменьшения размеров ПА путем выбора толщин и диэлектрических проницаемостей слоев.

На следующем этапе проводились численные исследования ПА. Они имели следующие цели: исследование зависимости добротности ПА от параметров и исследование возможностей отстройки паразитных колебаний полосковой ПА от рабочих колебаний, а также их подавления с помощью разных схем возбуждения.

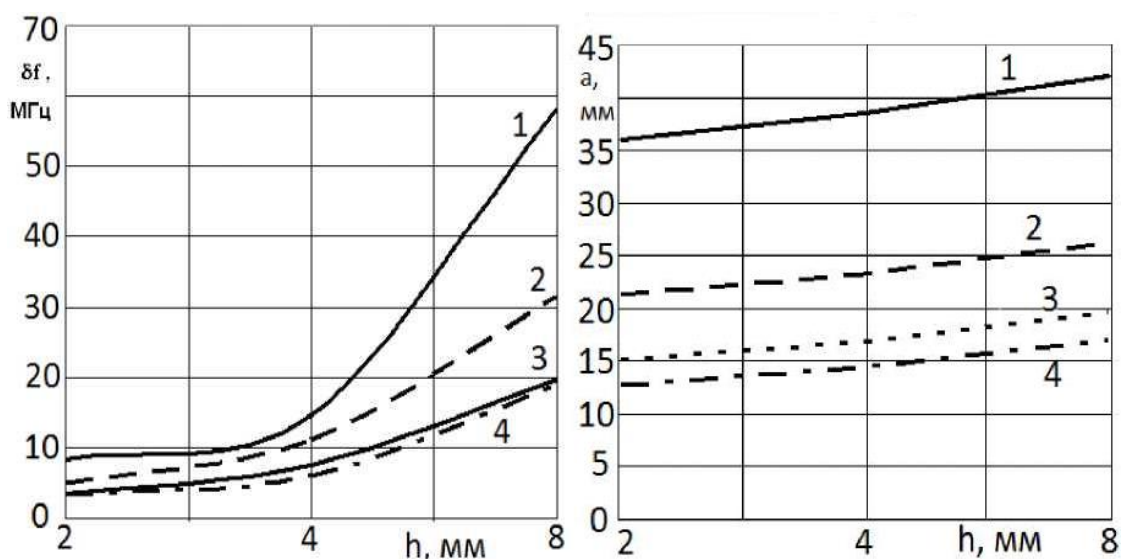


Рисунок 2 – Зависимости ширины пропускания полосковой ПА

На рисунке 2 показаны типичные зависимости ширины полосы пропускания полосковой ПА и ее резонансного размера a от высоты h . Кривые 1 – 4 получены для диэлектрической проницаемости подложки ПА. Расчеты проводились при условии отсутствия тепловых потерь.

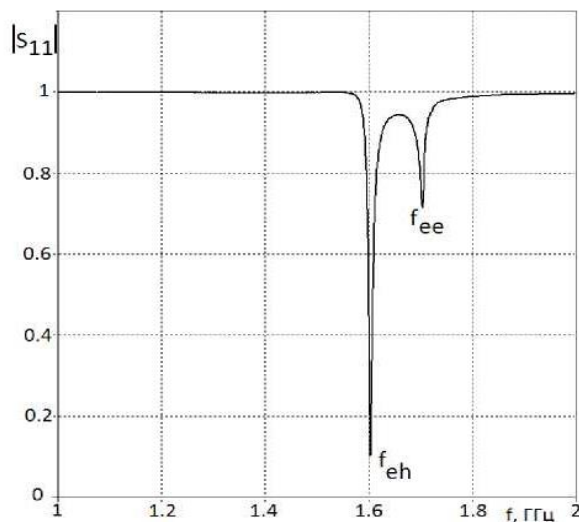


Рисунок 3 – Частота колебания

Численные исследования показали ограниченные возможности борьбы с паразитным колебанием в полосковой ПА. Применение сложных многоэлементных схем возбуждения не приводит к подавлению EE колебания, которое при этом имеет частоту достаточно близкую к частоте рабочего EH колебания, как это видно из рисунка 3. На основании проведенного качественного и численного анализа двухслойных ПА был сделан вывод о преимуществе щелевой ПА.

Технические объекты в рамках теории ВО описываются с помощью стандартных параметров – ПК: K_1, K_N . Их часто объединяют в вектор ПК – K . ПК должен быть неотрицательной величиной, которая монотонно уменьшается при улучшении качества ПА.

В работе использовалось описание ПА двумя ПК: K/Q , где Q – добротность ПА и K_2 , который характеризует размеры антенны. Рассматривались три различные формулировки ПК K_2 : максимальный габаритный размер G , объем V и площадь S .

Технические решения, удовлетворяющие всем ограничениям, накладываемым на параметры устройства $x_1 \dots x_M$, представляют часть полного множества решений, которая получила название множества строго допустимых (МСД). Сравнение технических решений происходит в пределах МСД. Особенность процедуры ВО состоит в том, что она дает в пространстве ПК множество оптимальных решений, которое получило название множества не худших (МНХ) решений. При этом МНХ является частью МСД. Формирование МНХ является основной целью ВО.

Первый этап ВО – формирование МСД. В данной работе эта задача решалась в несколько шагов. Рассмотрим их на примере ПА линейной поляризации.

На первом шаге рассчитывались ПК ПА, соответствующие разным значениям параметров, которые варьировались в ограниченных пределах: $1 < s < 16$, $2 < h < 8$, $10 < b < 30$, где s – диэлектрическая проницаемость подложки, h – высота ПА, b – ширина ПА. Длина ПА a выбиралась из условия настройки ПА на заданную частоту f_0 . Для сравнения было выбрано четыре типа ПА линейной поляризации: полуволновая, четвертьволновая, полуволновая свернутая и четвертьволновая свернутая. Они показаны соответственно на рисунке 4.

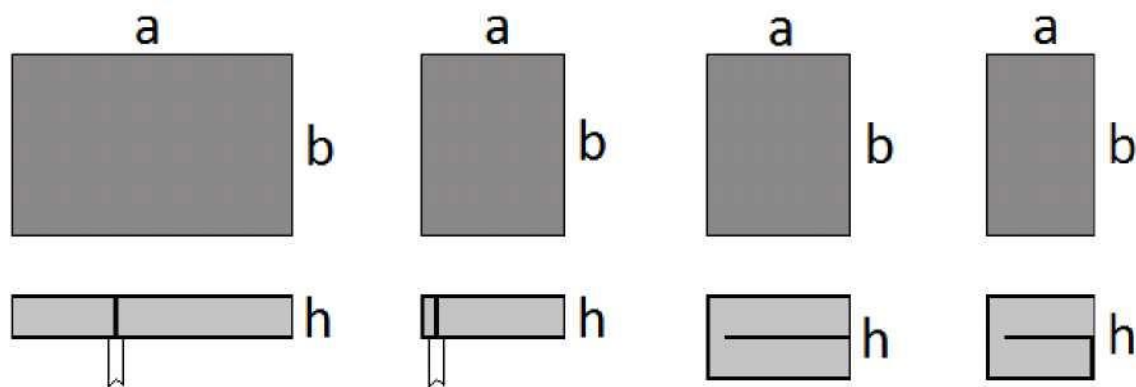


Рисунок 3 – Исследованные ПА линейной поляризации

Расчеты ПК производились в системе электродинамического моделирования *CST MWS*. В силу больших временных затрат на настройку каждого варианта ПА расчеты проводились с редкой сеткой.

На следующем шаге использовалась процедура аппроксимации функций кубическими сплайнами. Далее МСД подвергалось вторичной дискретизации с более мелким шагом. Число точек по каждому параметру x_2 было взято равным десяти.

Для построения МНХ использовался безусловный критерий предпочтения. Этот критерий позволяет решать в пространстве нескольких ПК вопрос о сравнении технических решений.

Данная процедура поиска МНХ применялась также к ПА круговой поляризации, в число которых были включены двухслойные полосковая и щелевая ПА и классическая квадратная ПА.

На следующем этапе полученные МНХ для разных конструкций ПА сравнивались графически в пространстве ПК. Данная процедура для ПА линейной поляризации поясняется на рисунок 4 а. Кривые 1 – 4 соответствуют ПА на рисунке 3, а кривая 5 критерию Чу. Анализ МНХ позволяет сделать неожиданный вывод, справедливый для всех формулировок ПК K_2 , характеризующего размеры ПА. Полуволновая и полуволновая свернутая ПА безусловно хуже четвертьволновых ПА. Преимущество четвертьволновых ПА особенно велико в области низких добротностей и больших объемов. В работе предложено объяснение полученного относительно неожиданного результата, основанное на известной модели ПА в виде нитей магнитных токов. Из нее следует, что в области больших объемов ПА, ко-

гда ее проницаемость стремится к единице, мощность излучения полуволновой ПА падает, а четвертьволновой остается неизменной.

На первом этапе ВО проводилось сравнение антенн с двух и четырехэлементными схемами, а также рассматривалась ПА с двухэлементной схемой и пассивным короткозамыкающим штырем в центре антенны. Поскольку смысл увеличения числа элементов питания состоит исключительно в повышении КЭ, то сравнение проводилось по одному указанному ПК K_3 . Численные расчеты показали, что увеличение числа элементов возбуждения значительно улучшает поляризационные характеристики ПА без пассивного штыря и незначительно у ПА с пассивным штырем. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в большинстве случаев двухэлементная схема в сочетании с пассивным штырем предпочтительнее четырехэлементной, так как она существенно проще ее и незначительно проигрывает по КЭ. Поэтому далее четырехэлементные схемы были исключены из анализа.

На втором этапе сравнение ПА круговой поляризации с разными схемами питания проводилось по совокупности трех ПК. Вторым этапом выполнялся по методике, описанной выше, включающей в себя построение МСД и МНХ. При построении указанных множеств использовалась упрощенная резонаторная модель полуволновой ПА. Полученные МНХ для ПА с одним элементом возбуждения, а также с двухэлементными схемами с РДМ и БДМ. Во всех случаях МНХ представляет собой пространственную кривую. В силу того, что схема с БДМ имеет идеальную развязку боковых плеч, то колебания ПА возбуждаются независимо друг от друга с требуемыми соотношениями амплитуд и фаз. По этой причине коэффициент эллиптичности такой ПА всегда равен единице, а МНХ схемы с БДМ лежит в плоскости $K_3 = 0$.

Одноэлементная схема практически эквивалентна двухэлементной схеме с РДМ по трем ПК. Поскольку конструктивно одноэлементная схема намного проще двухэлементной, то она является предпочтительным техническим решением. Таким образом, сопоставление МНХ приводит к выводу, что конкурирующими схемами питания ПА с пассивным штырем являются одноэлементная и двухэлементная с БДМ. В пространстве трех ПК обе схемы являются не худшими, так как схема с БДМ превосходит одноэлементную схему по эллиптичности, но уступает ей по полосе частот и КУ. На заключительном этапе исследования и оптимизации схем возбуждения ПА решалась задача их синтеза, то есть отображения МНХ в пространство параметров.

В третьей главе представлены результаты практической реализации многослойных ПА и их экспериментального исследования. На первом этапе сопоставлялись две ПА круговой поляризации с воздушным заполнением: щелевая двухслойная и полуволновая.

Сравнивались их габариты, добротность и КПД. На рисунке 7 показаны АЧХ коэффициентов передачи из исследуемых ПА в тестовую антенну. Из рисунка 7 видно, что полуволновая ПА превосходит щелевую двухслойную ПА по максимальному значению коэффициента передачи на 3.4 дБ.

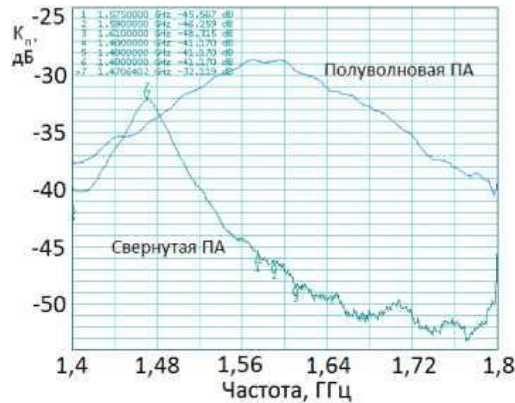


Рисунок 7 – ПА с разными схемами возбуждения

Это объясняется тем, что благодаря большим размерам полуволновая ПА имеет более высокий КУ. Данное утверждение подтверждается численным моделированием ПА. При этом значения КПД обеих антенн отличаются незначительно. Полуволновая ПА имеет ширину полосы в 10%, а свернутая ПА – 2.5%. По объему щелевая ПА меньше полуволновой в 13 раз. Таким образом, по произведению объема на добротность у щелевой ПА в 3.25 раза меньше, чем у полуволновой ПА, что подтверждает эффективность использования многослойных ПА.

На следующем этапе рассматривается применение двухслойной полосковой ПА в составе двухдиапазонной антенны. Антенна представляет собой многослойную конструкцию, где верхний слой – это полуволновая ПА с одноточечным питанием, а следующие два слоя образуют полосковую ПА. Двухслойная ПА в составе двухдиапазонной антенны отвечает за функционирование антенны на частоте 121 МГц.

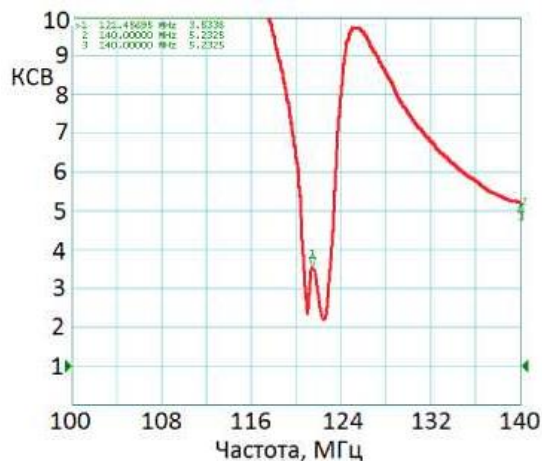


Рисунок 8 – КСВ двухслойной ПА

Частотная зависимость КСВ антенны в нижнем диапазоне частот показана на рисунке 8. Она имеет двугорбую форму, так как ПА возбуждалась по одноточечной схеме, которая описана выше. Данная ПА является примером комбинации

двух методов уменьшения габаритов ПА: двухслойной конструкции и материалов с высокой проницаемостью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации получены следующие научно-технические результаты:

1. Результатом проделанной работы является экспериментальное исследование действующих макетов двухслойных ПА. Экспериментально измерены ДН и КУ. Показано, что по КПД двухслойная ПА практически не уступает однослойной полуволновой ПА с воздушным заполнением и при этом имеет существенно меньшие размеры. Данный результат подтверждает эффективность метода объемного сворачивания для решения задачи миниатюризации ПА без использования материалов с высокой диэлектрической проницаемостью.

2. Представлены результаты практического использования многочастотной антенны, состоящей из двух антенн, функционирующих в двух разнесенных диапазонах. Низкочастотная антенна выполнена в виде двухслойной полосковой ПА. В ней используется материал с высокой проницаемостью. Антенна функционирует на частоте 122 МГц, которая соответствует длине волны 2.5 метра. Антенна имеет габаритные размеры 140x140x16 мм много меньше длины волны, что также служит подтверждением эффективности исследованного в работе метода миниатюризации ПА.

3. Рассмотрено применение двухслойной щелевой антенны без использования диэлектрика. Однако данная конструкция практически не отличается как по габаритам, так и по показателям качества от классических ПА, выполненных на диэлектрике

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Построение комплексной системы безопасности на основе программного обеспечения / А.А. Казак, А.Д. Ананич, М.Г. Зайцев, А.И. Шкут; Журнал «Science Time»: Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества. – Казань, Российская Федерация, 2017 года. – 2 – 7.

[2] Методы повышения термополевой стабильности МОП транзисторов интегральных микросхем / А.А. Казак, А.Д. Ананич, В.В. Савостьянич, А.И. Шкут, Н.Н. Тихновецкий // Журнал «Научное знание современности»: Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества. – Казань, Российская Федерация, 2018 года. – Принято в печать.

[3] Составляющие комплексной системы безопасности / А.А. Казак, А.Д. Ананич, В.В. Савостьянич, А.И. Шкут, Н.Н. Тихновецкий. // Журнал «Научное знание современности»: Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества. – Казань, Российская Федерация, 2018 года. – Принято в печать.

[4] Миниатюризация печатных антенн / А.А. Казак, А.Д. Ананич, В.В. Савостьянич, А.И. Шкут, Н.Н. Тихновецкий // Журнал «Научное знание современности»: Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества. – Казань, Российская Федерация, 2018 года. – Принято в печать.

[5] Выбор видов контейнеров компьютерной стеганографии для исследования эффективности скрытия графической информации / А.А. Казак, А.Д. Ананич, В.В. Савостьянич, А.И. Шкут, Н.Н. Тихновецкий // Журнал «Научное знание современности»: Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества. – Казань, Российская Федерация, 2018 года. – Принято в печать.

[6] Мониторинг, как одно из основных средств обеспечения качества среды обитания в интеллектуальном здании / А.А. Казак, А.Д. Ананич, В.В. Савостьянич, А.И. Шкут, Н.Н. Тихновецкий // Журнал «Научное знание современности»: Материалы Международных научно-практических мероприятий Общества Науки и Творчества. – Казань, Российская Федерация, 2018 года. – Принято в печать.

РЭЗІЮМЭ

Шкут Арцём Іванавіч

Малагабарытныя шматслойныя друкаваныя антэны

Ключавыя словы: шматслойныя антэны, друкаваныя антэны, мініяцюрызацыя антэн, шматслойныя антэны, мініяцюрызацыя друкаваных антэн, малагабарытныя антэны.

Мэта працы: развіццё метадаў інжынернага праектавання малагабарытных ПА на аснове ўліку мноства ПК і даследаванні новых канструкцый шматслойных малагабарытных ПА.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: разглядалася адноточечная схема харчавання і варыянты двухточечнай схемы з РДМ і БДМ. Схемы параўнай-валіся паміж сабой у прасторы трох паказчыкаў якасці. Двухточечная схема з БДМ пераўзыходзіць адноточечную па такім ПК як палярызацыйныя характарыстыка, але саступае па паласе працоўных частот і каэфіцыенту ўзмацнілі-ня ПА.

Навізна дысертацыйнай працы складаецца ў новых выніках выкарыстання шматслойных ПА кругавой палярызацыі, у тым ліку аналізам спектру іх асноўных уласных ваганняў, супастаўленне розных тыпаў ПА адзін з адным і з крытэрыем Чу.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм установы абразавання «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыё-электронікі» ў навучальны курс «МФПЯ».

Вобласць прымянення: у сістэмах спадарожнікавай навігацыі *GPS*, ГлоНАСС, *Galileo*.

РЕЗЮМЕ

Шкут Артем Иванович

Малогобаритные многослойные печатные антенны

Ключевые слова: многослойные антенны, печатные антенны, миниатюризация антенн, многослойные антенны, миниатюризация печатных антенн, малогобаритные антенны.

Цель работы: развитие методов инженерного проектирования малогобаритных ПА на основе учета множества ПК и исследования новых конструкций многослойных малогобаритных ПА.

Полученные результаты и их новизна: рассматривалась одноточечная схема питания и варианты двухточечной схемы с РДМ и БДМ. Схемы сравнивались между собой в пространстве трех показателей качества. Двухточечная схема с БДМ превосходит одноточечную по такому ПК как поляризационная характеристика, но уступает по полосе рабочих частот и коэффициенту усиления ПА.

Новизна диссертационной работы заключается в новых результатах исследования многослойных ПА круговой поляризации, в том числе анализом спектра их основных собственных колебаний, сопоставление разных типов ПА друг с другом и с критерием Чу.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «МФПЯ».

Область применения: в системах спутниковой навигации *GPS*, ГЛОНАСС, *Galileo*.

SUMMARY

Shkut Artem Ivanovich

Small-size multi-layer printed antennas

Keywords: multilayered antennas, printed antennas, miniaturization of antennas, multilayered antennas, miniaturization of printed antennas, small-size antennas.

The purpose of the work: development of methods of engineering design of small-size PAs based on the accounting of many PCs and research of new designs of multilayer small-size PA.

The results obtained and their novelty: a single-point power scheme and variants of a two-point circuit with RDM and PM were considered. Schemes were compared among themselves in the space of three quality indicators. A two-point scheme with a PMU is superior to a single-point PCM as a polarization characteristic, but is inferior in terms of the operating frequency band and the PA gain factor.

The novelty of the thesis work is the new results of the study of multilayer PA circular polarization, including the analysis of the spectrum of their fundamental natural oscillations, the comparison of different types of PA with each other and with the Chu criterion.

Degree of use: the results are implemented in the educational process on the design of information and computer systems of the educational establishment "Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics" in the training course "MFPA".

Scope: in the systems of satellite navigation GPS, GLO-NASS, Galileo.