

На правах рукописи



Кондратьева Светлана Геннадьевна

***ДВУХЧАСТОТНАЯ ФАЗИРОВАННАЯ МОБИЛЬНАЯ
АНТЕННАЯ РЕШЁТКА РЛС L-ДИАПАЗОНА***

Специальность 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

**Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук**

Москва – 2015

Работа выполнена на кафедре радиофизики, антенн и микроволновой техники Московского авиационного института (национального исследовательского университета).

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Воскресенский Дмитрий Иванович

Официальные оппоненты - доктор технических наук
Касьянов Александр Олегович

- кандидат технических наук
Русов Юрий Сергеевич

Ведущая организация: ОАО «Московский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский радиотехнический институт» (ОАО «МНИРТИ») г. Москва

Защита состоится «26» мая 2015 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.03 при Московском авиационном институте по адресу: 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Московского авиационного института (125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д. 4) и на сайте <http://www.mai.ru>.

Автореферат разослан «_____» _____ 2015г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
Д. 212.125.03, д.т.н.



Сычёв М.И.

I. Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации

В современных радиотехнических системах связи, радиомониторинга, радиолокации и навигации предъявляются всё более жёсткие требования к сверхширокополосности и массогабаритным параметрам антенных систем. В последнее время также возникает необходимость расширения функциональных возможностей антенн, которое достигается многочастотным или широкополосным режимом работы. В большинстве радиоэлектронных систем (РЭС) добавляется необходимость обеспечения моноимпульсного режима работы и формирования диаграммы направленности (ДН) специальной формы в нескольких диапазонах или широкой полосе частот. Так радиолокационную станцию (РЛС) дальнего обнаружения, работающую в X -диапазоне, необходимо дополнить РЭС вторичного обзорного радиолокатора (ВОРЛ) с функцией определения государственной принадлежности (ОГП), работающей в двух диапазонах на двух различных частотах. Общие принципы построения таких антенн интегрированных радиоэлектронных комплексов (ИРЭК) основываются на разделении антенной системы на отдельные составные части и проработке каждого из них в отдельности, а затем всей системы в целом.

В системе ВОРЛ система распределения мощности СВЧ и антенное полотно должны обеспечивать формирование ДН специальной формы на рабочих частотах $f_1=1,055$ ГГц и $f_2=1,495$ ГГц и рабочими полосами порядка единиц процентов. Отсюда следуют требования построения двухчастотной ФАР в L -диапазоне, размещаемой совместно с РЛС в X -диапазоне мобильного комплекса двойного назначения.

Существующие прототипы подобных систем представляют собой распределительные СВЧ системы, разделённые частотными диплексерами. Каждая распределительная система обеспечивает формирование амплитудно-фазового распределения (АФР) для своей рабочей частоты.

В целях повышения надёжности и обеспечения возможности дальнейшей глубокой модернизации системы целесообразно отказаться от частотного разделения схемы деления мощности и обеспечить формирование требуемого АФР на обеих частотах единым блоком распределительной системы СВЧ. Также существует необходимость разработки антенного элемента фазированной антенной решётки (ФАР), обеспечивающего необходимые направленные свойства в широкой полосе частот, включающей указанные рабочие частоты, и удовлетворяющий конструктивным требованиям по массогабаритным характеристикам и долговечности.

В процессе разработки ФАР современных РЛС неизбежно возникают требования к минимизации уровня бокового лепестка (УБЛ), связанные с обеспечением высоких требований к скрытности работы и электромагнитной совместимости подобных систем. Применение классических методов уменьшения УБЛ связано с падением направленных свойств и, как следствие, с падением энергетического потенциала РЛС. Таким образом существует необходимость разработки методов изменения конструкции ФАР, которые позволили бы уменьшить УБЛ без потери направленности системы путём изменения пространственной конфигурации ФАР.

Технология изготовления и процесс эксплуатации РЭС неизбежно связан с проявлением ряда факторов, носящих случайный характер, которые отрицательно сказываются на характеристиках системы. Ряд таких факторов можно учесть в процессе разработки ФАР используя статистическую теорию антенн и процесс численного моделирования. Таким образом необходимо разработать методику численного моделирования характеристик направленности ФАР, способную учитывать различную природу, характер и параметры случайных факторов, вносящих ошибки в АФР и ДН антенной системы.

Приведённый в работе обзор работ показывает, что наиболее полно исследованы совмещённые антенные решётки и всего несколько публикаций посвя-

щены широкополосным ФАР с оптимальным размещением элементов и проблемам построения всей антенной системы мобильных интегрированных радиоэлектронных комплексов. Наряду со значительными достижениями в этой области, нельзя считать, что исследование таких антенн полностью завершено. Открытыми остаются вопросы, связанные с расчётом распределительных систем возбуждения двухчастотных ФАР мобильных интегрированных радиоэлектронных комплексов, а также оптимальным размещением элементов в антенном полотне и способами снижения уровня бокового излучения. Отсутствуют исследования полосы и диапазонных свойств, а также возможных систем возбуждения.

Цель и задачи работы

Целью диссертационной работы является поиск путей построения двухчастотной ФАР мобильных интегрированных радиоэлектронных комплексов с малым уровнем боковых лепестков.

В соответствии с поставленной целью **в диссертационной работе были решены следующие задачи:**

- Предложена и разработана ФАР с сектором сканирования 90° и каналом ПБЛ, с косекансной ДН в вертикальной плоскости, работающая на двух частотах, обеспечивающая функционирование системы госопознавания в комплексе двойного назначения;
- составлен алгоритм расчёта распределительных двухчастотных (широкополосных) систем для формирования заданных характеристик направленности с малым УБЛ с учётом амплитудно-фазовых ошибок изготовления, управления и эксплуатации;
- синтезирована косекансная и моноимпульсная диаграммы направленности и определены характеристики канала ПБЛ для двух рабочих частотных диапазонов;
- исследованы характеристики направленности и полосы частот в антенных решётках мобильных интегрированных радиоэлектронных комплексов;

- разработана методика расчёта характеристик направленности двухчастотной антенной решётки с учётом наличия ошибок в амплитудно-фазовом распределении;
- определены направленные свойства и частотные характеристики широкополосных излучателей антенных систем мобильных радиоэлектронных комплексов.

Методы исследований

При исследовании использовались вычислительные методы электродинамики, теории антенн, численные методы математического анализа, численное моделирование характеристик антенных решёток на ЭВМ и матричные методы теории антенн и устройств СВЧ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана единая система возбуждения двухчастотной фазированной антенной решётки с моноимпульсной диаграммой направленности в азимутальной плоскости и косекансной ДН в угломестной плоскости при малом УБЛ.
2. Составлен алгоритм расчёта направленных и статистических характеристик с произвольным (заданным) размещением элементов.
3. Выявлена возможность минимизации уровня бокового излучения при фиксированном размере раскрыва и усиления.

Практическая значимость результатов работы

1. Разработана конструкция антенной решётки госопознавания для мобильного комплекса РЛС. Предложена двухчастотная ФАР на единой распределительной и излучающей системах, имеющая канал ПБЛ.
2. Составлены алгоритм и программа расчёта многоканального двухчастотного полоскового делителя мощности для реализации заданного амплитудно-фазового распределения в линейной антенной решётке с учётом ошибок изготовления.

3. Установлены границы технологических допусков, обеспечивающих характеристики в заданных пределах.

Реализация и внедрение результатов работы

Основные результаты диссертационной работы использованы и внедрены в ОКР ОАО «НПО „Лианозовский электромеханический завод“» (НПО «ЛЭМЗ»). Акт о внедрении приведён в приложении к диссертации.

Достоверность полученных результатов

Достоверность обуславливается использованием общей теории антенн и численных электродинамических методов расчёта, а также апробированного адекватного математического и статистического аппарата, специализированных компьютерных программ. Полученные результаты многократно подтверждены вычислительными экспериментами.

Апробация результатов работы

Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительные оценки на 14 международных и 6 всероссийских научно-технических конференциях.

Публикации

По основным результатам выполненных исследований опубликовано 30 печатных работ, из них: 5 - научные статьи, 3 - патенты, 22 - тезисы докладов научных конференций.

Основные положения, выносимые на защиту

- Предложена схема построения двухчастотной моноимпульсной ФАР ОГП с малым уровнем боковых лепестков, каналом ПБЛ и единой излучающей, возбуждающей и управляющей системой.
- Достигнут малый уровень боковых лепестков в двухчастотной ФАР ОГП путём изменения геометрии трёх многоканальных делителей.

- Сформирована диаграмма направленности косекансного типа в малоэлементной антенной решётке при двухчастотном режиме работы.
- Найдено влияние ошибок АФР ФАР на характеристики направленности при двухчастотной работе.

Объем и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и приложения А. Работа изложена на 150 страницах машинописного текста. Список литературы включает 109 наименований на 11 страницах. Работа содержит 118 рисунков и 8 таблиц.

Личный вклад

Выводы основных теоретических соотношений получены при непосредственном участии автора. Автор принимал участие в разработке новой схемы построения двухчастотной антенной решётки ОГП и разработки алгоритма оптимального возбуждения излучателей. Также автором проведено детальное моделирование и оптимизация характеристик направленности как отдельного излучателя, так и самой двухчастотной антенной фазированной антенной решётки мобильной РЛС L -диапазона.

II. Краткое содержание работы

Введение

Во введении показано обоснование актуальности темы диссертационной работы, сформулирована цель работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту. Приведена структура диссертации, форма апробации и внедрения результатов.

Глава 1. Антенные решётки мобильных радиоэлектронных комплексов систем определения государственной принадлежности

В первой главе проведён обзор отечественной и зарубежной литературы по теме построения антенных решёток мобильных систем определения государственной принадлежности. В результате обзора выявлен ряд факторов, которые необходимо учитывать при разработке систем данного типа: малый уровень бокового излучения (менее -20 дБ), высокий энергетический потенциал, формирование диаграммы направленности специальной формы, обеспечение возможности электрического сканирования, наличие канала ПБЛ. Все перечисленные факторы должны быть обеспечены при минимизации массогабаритных характеристик и обеспечения длительного срока эксплуатации системы. Распределительная система широкополосной АР мобильного многофункционального ИРЭК должна обеспечивать формирование моноимпульсной и косекансной ДН в двух частотных диапазонах или широкой полосе частот.

Особенно актуально в данном контексте выглядит задача объединения двух распределительных систем в единой конструктивной реализации, способной осуществить формирование АФР на двух рабочих частотах и сформировать ДН с требуемыми характеристиками. Система вторичной обзорной радиолокации (ВОРЛ) вообще и система ОГП в частности в целях повышения энергетической эффективности работы требует от антенной решётки формирования моноимпульсной ДН в азимутальной плоскости. В этих же целях от антенной системы требуется обеспечить косекансную форму ДН в угломестной плоскости в секторе углов $0-70^\circ$ с учётом физического поворота антенного полотна вверх на угол 20° . ФАР также должна обеспечивать возможность электрического сканирования в азимутальной плоскости в секторе углов $\pm 45^\circ$. Ширина ДН в азимутальной плоскости при этом не должна превышать 8° в нижнем частотном диапазоне и $5,2^\circ$ в верхнем.

Кроме того, к системе в целом предъявляются достаточно жёсткие требования по массогабаритным параметрам и длительности сроков эксплуатации.

При этом, в системе ВОРЛ применяется активный канал ПБЛ: так как система является в большей мере информационной и предназначена для обмена информацией между «землёй» и «бортом», то необходимо исключить ложные ответы «бортов», находящихся вне сектора углов главного лепестка ДН и получающие запросы по боковому лепестку. Для этого после импульса запроса от «земли» к «борту», излучаемого основным полотном ФАР, через некоторый защитный промежуток времени следует импульс канала ПБЛ, излучаемый антенной, имеющей широкую ДН. ДН канала ПБЛ должна обеспечивать превышение ДН основной антенны в секторе боковых лепестков не менее, чем на 3дБ, а в секторе главного луча основной антенны уровень ДН канала ПБЛ должен быть ниже уровня главного луча на величину 20дБ.

Глава 2. Излучающее полотно фазированной антенной решётки государственного опознавания

Во второй главе диссертации проведено исследование характеристик шести типов излучателей (рис.2.1) и выбран тип широкополосного антенного элемента, обеспечивающий сканирование и согласование в заданных частотных диапазонах (рис.2.2).

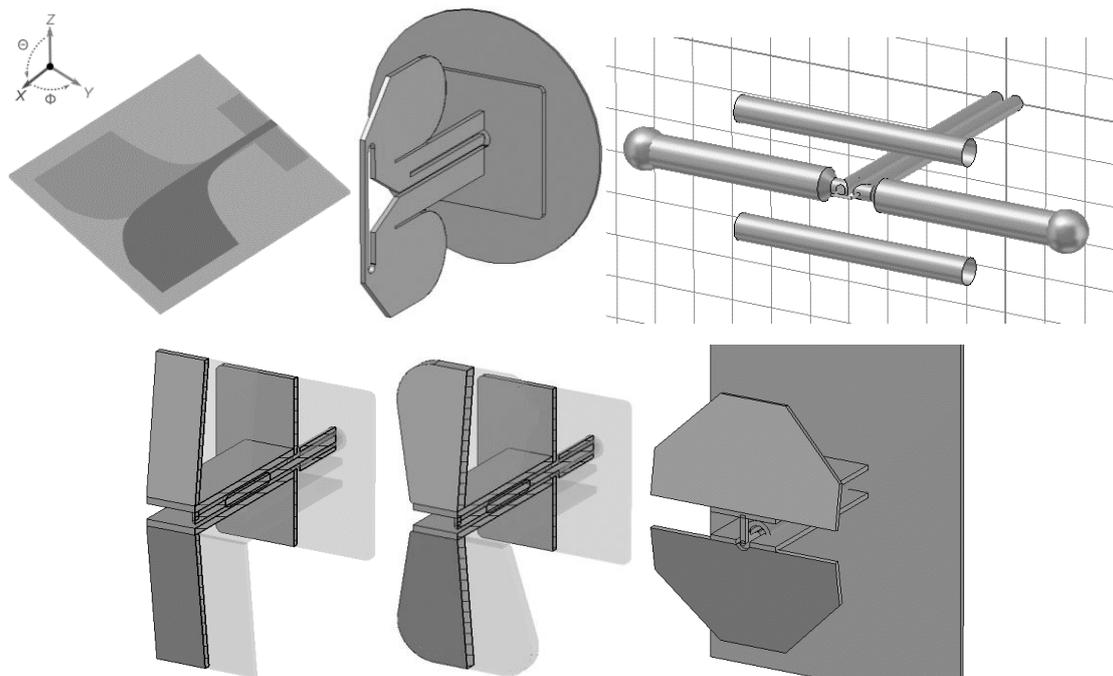


Рисунок 2.1 - Излучатели, исследованные в работе.

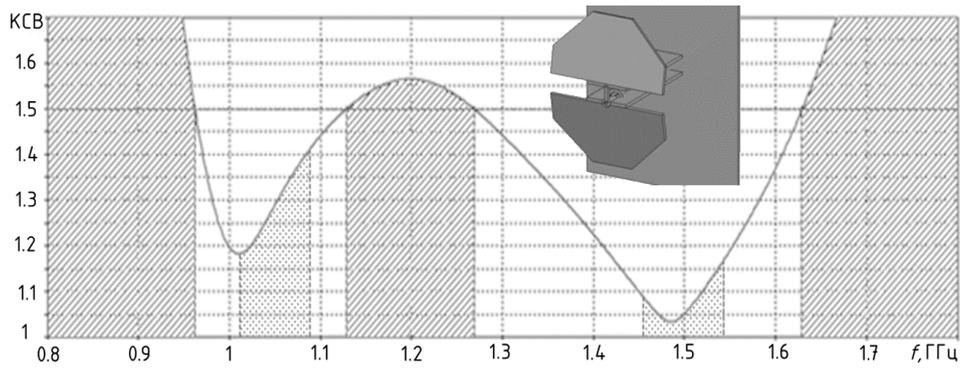


Рисунок 2.2 - КСВ в рабочем диапазоне частот выбранного излучателя.

Для учёта эффекта взаимодействия в работе проведено численное электро-динамическое моделирование выбранного излучателя в условиях малоэлементной решётки при сканировании луча в рабочем секторе углов. Полученные характеристики приведены на рис.2.3 а-в.

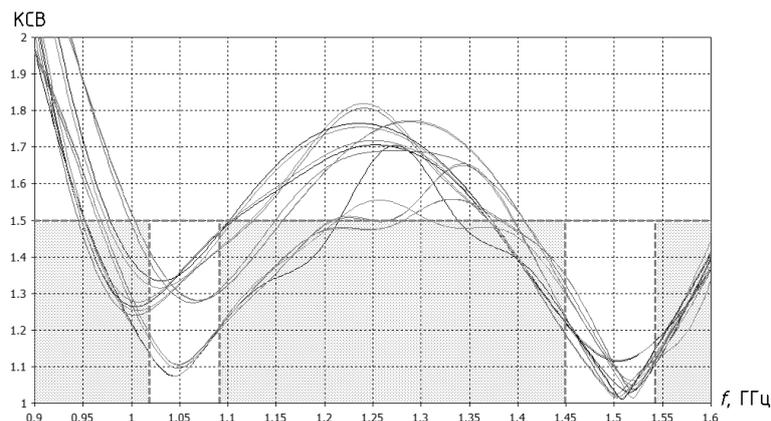


Рисунок 2.3.а - КСВ всех антенных элементов решётки 5x5.

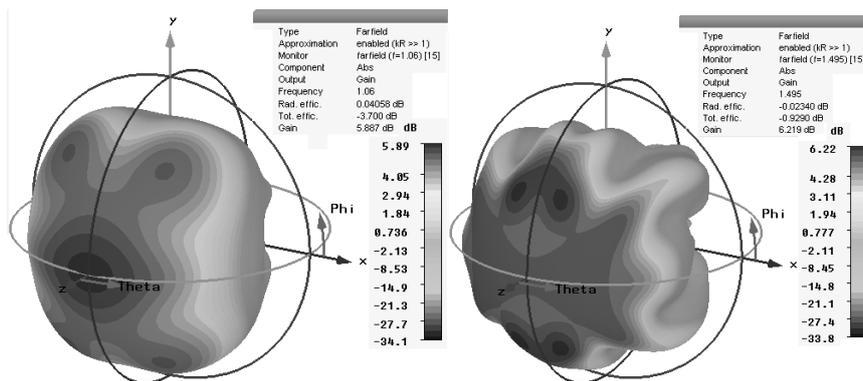


Рисунок 2.3.б - ДН центрального антенного элемента.

Для обеспечения заданных характеристик направленности в условиях электрического сканирования и формирования моноимпульсной ДН в горизонтальной плоскости и ДН специальной формы в вертикальной плоскости определены

амплитудно-фазовые распределения, обеспечивающие высокую крутизну пеленгационной характеристики по сравнению с аналогами для работы в двух частотных диапазонах и заданный уровень УБЛ.

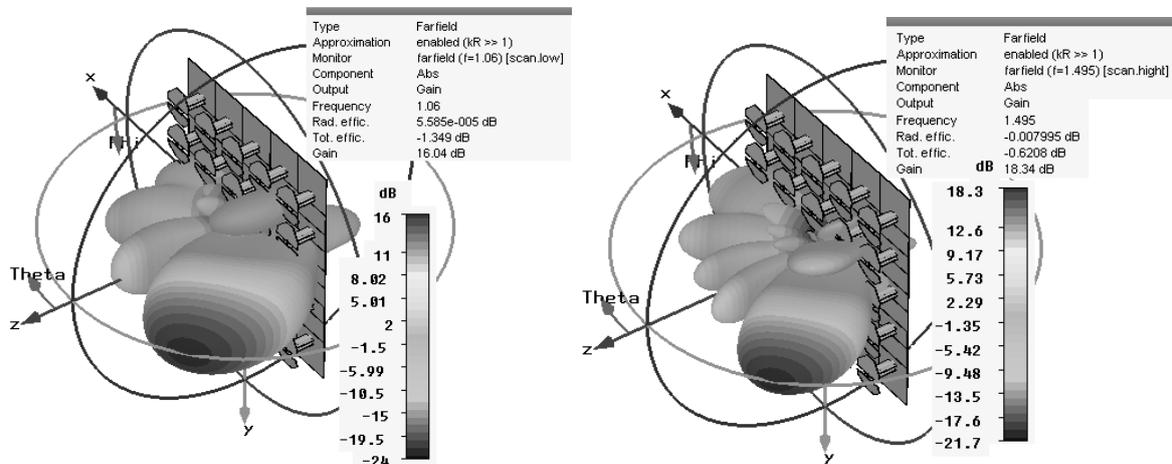


Рисунок 2.3.в - ДН малоэлементной антенной решётки с отклонением луча на максимальный угол сканирования в секторе 45° .

Для обеспечения требований канала ПБЛ было принято решение исключить 4 центральных элемента из разностного канала моноимпульсной распределительной системы и на их основе сформировать подрешётку канала ПБЛ. Элементы ФАР канала ПБЛ подключаются противофазно с равномерным амплитудным распределением. Нормированная ДН канала ПБЛ (Ω) приведена на рис. 2.4 в сравнении с ДН суммарного канала (Σ) моноимпульсной схемы деления с учётом электрического отклонения луча на 0° и 45° .

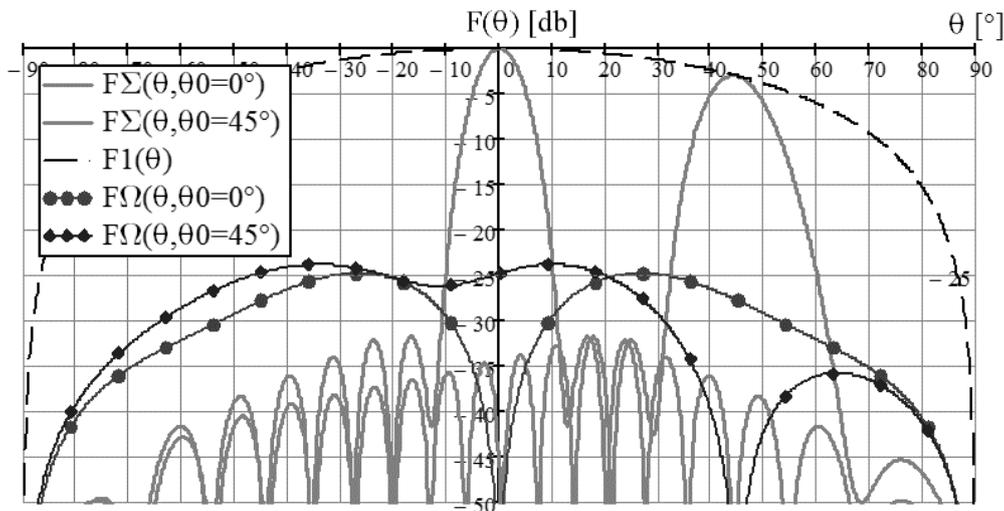


Рисунок 2.4. - Суммарная (Σ) ДН и ДН канала ПБЛ (Ω) с учётом сканирования.

Полученные результаты исследованы на статистическую устойчивость с учётом точностных ограничений, накладываемых современной технологией изготовления и условиями длительной эксплуатации. Исследования проведены на основе разработанного алгоритма численной имитационной модели ФАР, позволяющей учитывать вероятностные величины в различных аспектах конструкции полотна АР и схемы возбуждения.

Глава 3. Распределительная система

В третьей главе диссертации на основе электродинамической численной модели разработаны конструкции устройств деления мощности, обеспечивающие формирование диаграмм направленности антенной системы в азимутальной и угломестной плоскостях при заданных требованиях по направленным свойствам с учётом ограничений по массогабаритным параметрам и точностям технологии изготовления.

В главе однотипно рассмотрен процесс разработки конструкции трёх делителей мощности: для суммарного (Σ), разностного (Δ) каналов моноимпульсной распределительной системы в азимутальной плоскости и делителя, формирующего косекансную ДН в угломестной плоскости.

На первом этапе разработки каждого из устройств на основе общей теории антенных решёток было получено амплитудное распределение для каждого из типов ДН. По полученному амплитудному распределению была сформирована схема деления и определены коэффициенты передачи элементарных делителей. На втором этапе в комплексе прикладных программ была построена параметрическая модель полоскового делителя мощности, на основе которой с применением аппарата сшивания матриц S -параметров получены амплитудно-фазовые распределения формируемые каждым из делителей. На третьем этапе на основе алгоритмов численной многопараметрической оптимизации была проведена итоговая доработка параметров топологии по критериям соответствия с требуе-

мыми характеристиками направленности и КСВ. Особенностью процесса разработки делителей являлась задача получения требуемых направленных свойств в двух рабочих частотных диапазонах на основе одной схемы деления. В качестве минимизируемого функционала использовалась сумма невязок:

$$\varepsilon = \sum_{n=1}^N \sum_{q=1}^{Q_n} \frac{W_n}{Q_n} |G_n(f_q) - M_n(f_q)|^{L_n},$$

где f_q – анализируемая частотная компонента; $|G_n(f) - M_n(f)|$ – невязка параметра; W_n – вес критерия; L_n – степень влияния невязки; N – число критериев оптимизации; Q_n – число частотных точек, в которых проходит процесс оптимизации.

Критериями выступали требуемые пороговые ограничения в частотных диапазонах (на характеристиках, зависящих от частоты), либо секторах углов (на характеристиках направленности), устанавливаемые в соответствии с указанными выше требованиями, выдвигаемыми к антенной системе в целом. Программная реализация алгоритмов оптимизации (симплекс метода, метода градиентного спуска, метода роя частиц и генетических алгоритмов) была возложена на среду моделирования. Результирующие диаграммы направленности для суммарного и разностного каналов с учётом технологических погрешностей изготовления приведены на рис. 3.1.

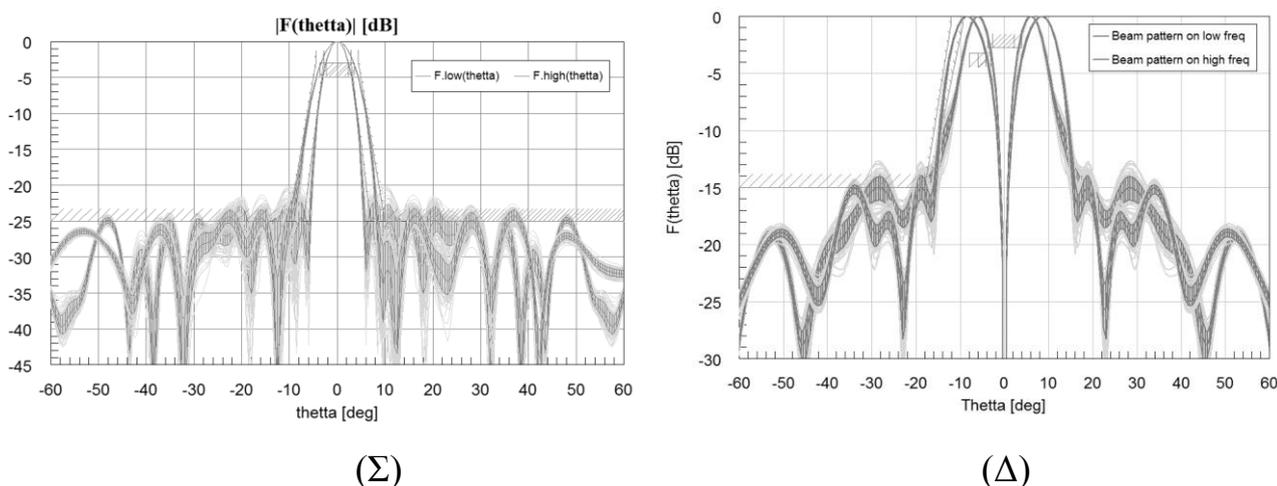


Рисунок 3.1 - ДН суммарного (Σ) и разностного (Δ) каналов для двух частотных диапазонов.

ДН, формируемая косекансным делителем для обоих частотных диапазонов приведены на рис. 3.2.

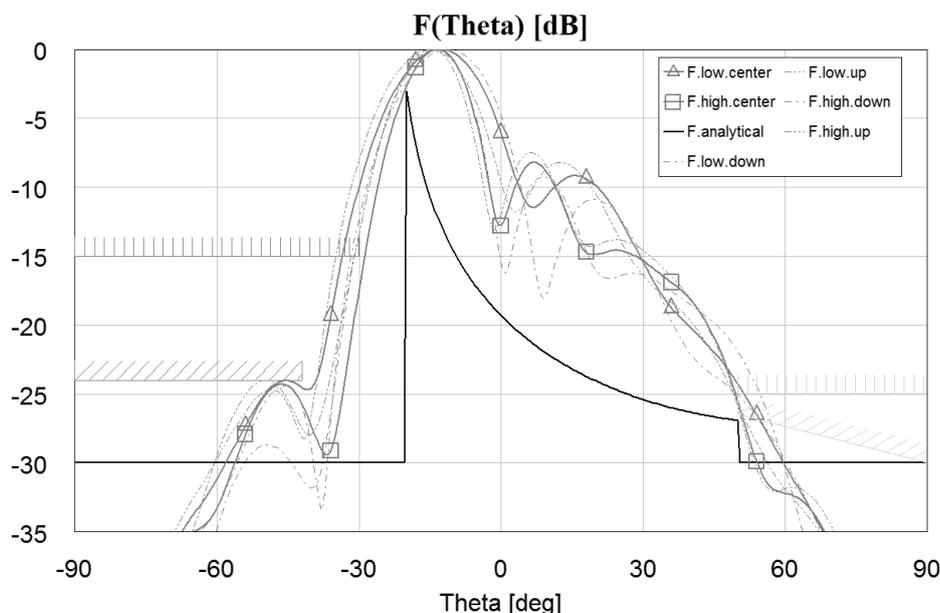


Рисунок 3.2 - ДН, формируемая косекансным делителем.

Полученные топологии делителей обеспечивают согласование по входу не хуже, чем 1.2 при наличии необходимого запаса по усилению в секторе рабочих углов косекансной ДН и УБЛ в секторе углов. Излучение в направлении земли косекансной ДН не превышает -23 дБ.

Глава 4. Уменьшение УБЛ в антенных решётках путём пространственного размещения элементов

В четвёртой главе диссертации показана возможность управления уровнем бокового излучения антенных решёток в заданных секторах углов путём изменения структуры антенного полотна.

Основываясь на потребности минимизации УБЛ в современных мобильных радиолокационных системах и учитывая, что классические методы подавления бокового излучения на основе применения спадающего к краям амплитудного распределения приводят к падению КНД, в работе предложен способ уменьшения УБЛ за счёт изменения пространственного расположения элементов решётки (рис.4.1).

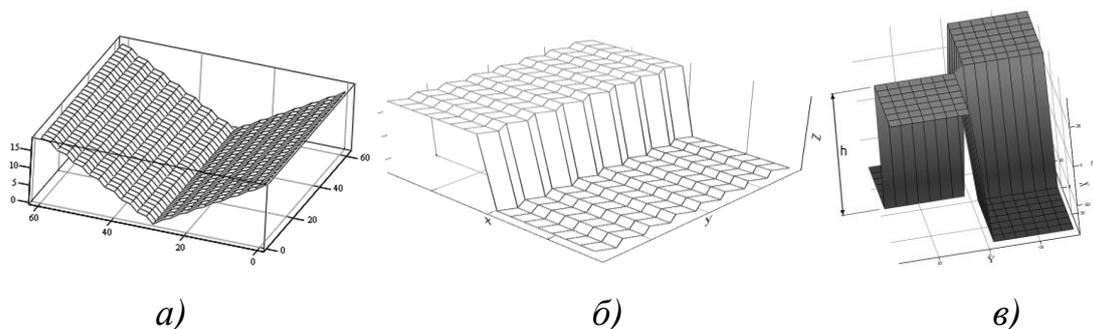


Рисунок 4.1 - Топология размещения элементов АР в пространстве: а) угловой профиль; б) пространственное смещение подрешёток; в) ступенчатое размещение элементов

Проведённые расчёты показали возможность уменьшения бокового излучения в малоэлементной решётке на величину порядка 1-2 дБ (рис.4.2).

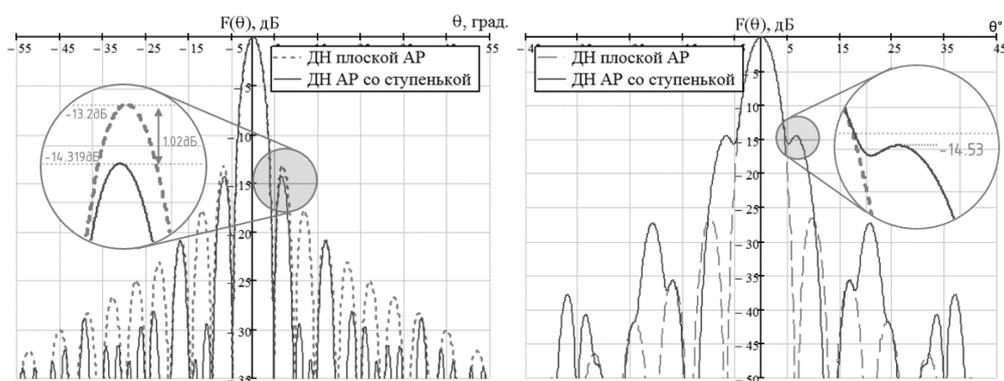


Рисунок 4.2 - ДН ФАР со ступенчатой топологией размещения элементов.

Для рассмотренных топологий было проведено статистическое исследование направленных свойств ФАР с целью определения влияния случайных факторов в амплитудно-фазовом распределении и координатах размещения излучателей на характеристики направленности (рис.4.3).

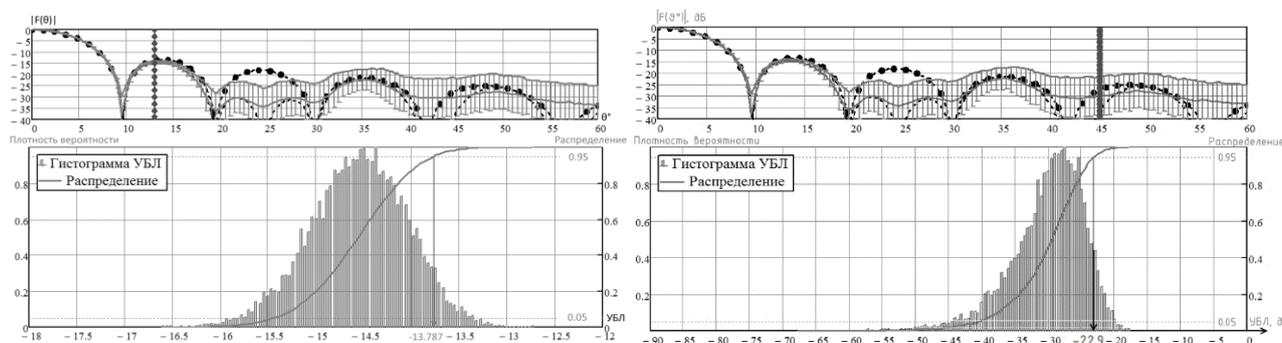


Рисунок 4.3 - Гистограммы распределений величины УБЛ для углов максимума первого бокового лепестка и на границе сектора сканирования.

По полученным исследованиям удалось определить ограничения на производственные допуски при изготовлении ФАР (рис.4.4).

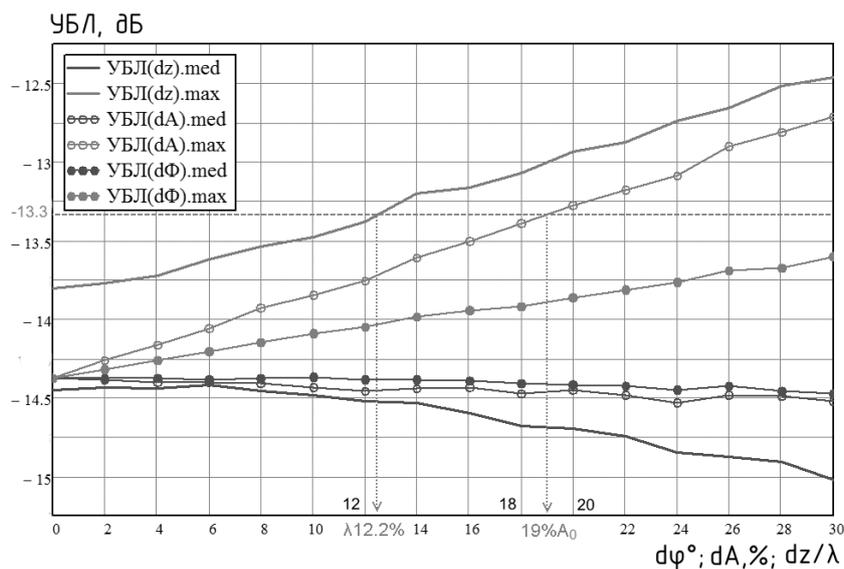


Рисунок 4.4 - Зависимости среднего и максимального УБЛ от величин амплитудной, фазовой и пространственной ошибок для ступенчатой топологии.

Основные результаты и выводы

В диссертационной работе предложена и разработана двухчастотная ФАР L -диапазона ОГП ИРЭК на единой излучающей, распределительной и фазирующей системе, имеющая канал подавления боковых лепестков, оптимизированную пеленгационную характеристику. В том числе получены следующие результаты:

1. Определены характеристики различных видов излучателей, обеспечивающих заданные направленные свойства и согласование, а также конструктивные требования для длительной эксплуатации. Из рассмотренных различных вариантов конструкций двухчастотных излучателей, обеспечивающих характеристики сканирования и согласования в рабочих диапазонах, конструкторско-технологические особенности изготовления и эксплуатации, выбран модифицированный широкополосный (пластинчатый уголкового) излучатель.

2. Предложена и разработана единая двухчастотная схема возбуждения излучателей в азимутальной плоскости ФАР ОГП мобильного ИРЭК для заданных

характеристик направленности и сектора сканирования. В системе возбуждения применено раздельное формирование суммарного и разностного каналов для обеспечения моноимпульсной работы и оптимизирована пеленгационная характеристика.

3. Построена модель и разработана программа расчёта двухчастотных делителей мощности для обеспечения заданных характеристик направленности с использованием алгоритмов численной многопараметрической оптимизации. На первом этапе математически синтезировано амплитудно-фазовое распределение и определены коэффициенты деления делителей мощности, на втором этапе разработана и отлажена математическая модель, позволившая осуществить численную оптимизацию параметров схемы деления мощности для достижения заданных направленных свойств и характеристик согласования.

4. Получена косекансная диаграмма направленности в вертикальной плоскости для двух рабочих частот, обеспечивающая превышение минимального теоретического уровня в рабочих азимутальных углах и УБЛ в направлении горизонта не более -23дБ.

5. Показана возможность управления боковым излучением в заданных направлениях путём изменения пространственной конфигурации полотна антенной решётки.

6. Разработан комплекс программных средств, позволяющий проводить анализ статистики направленных свойств различных антенных решёток, позволяющий использовать датчики случайных чисел с различными законами распределений для учёта ошибок АФР. Разработана программа, позволяющая установить величины допусков при изготовлении АР.

7. Полученные результаты двухчастотной работы и характеристики вне этих рабочих частот показывают возможность создания широкополосной антенной системы при некотором ослаблении требований по согласованию, габаритам.

Основные публикации по теме диссертации.

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Кондратьева С.Г. Многофункциональная бортовая антенная решётка интегрированного радиоэлектронного комплекса // Электронный журнал «Труды МАИ», №52, 2012г.
2. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В., Кондратьева С.Г., Шмачилин П.А. Антенная система бортового интегрированного радиоэлектронного комплекса для летательных аппаратов нового поколения // Журнал «Антенны», №9, 2013г.
3. Овчинникова Е.В., Кондратьева С.Г., Шмачилин П.А. Минимизация уровня боковых лепестков в антенных решётках с пространственным размещением элементов // Журнал «Антенны», №9, 2013г.
4. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В., Кондратьева С.Г., Шмачилин П.А. Бортовая антенная система интегрированного радиоэлектронного комплекса // Информационно-аналитический журнал «Фазотрон», №3(22), 2013г.
5. Кондратьева С.Г. Антенные решётки с двойной пространственной гексагональной структурой // Журнал "Информационно-измерительные и управляющие системы", №1, 2014г.

Патенты:

6. Патент №126200 от 20.03.2013 г. «Активная фазированная антенная решётка с широкоугольным сканированием»
7. Патент № 2538291 от 27.12.2014 г. «Способ снижения уровня бокового излучения антенны»
8. Патент № 142208 от 20.05.2014 г. «Активная фазированная антенная решётка с пространственным размещением элементов»

В других изданиях:

9. Кондратьева С.Г., Овчинникова Е.В. Соколов А.А. Экспериментальное исследование двухдиапазонной антенной решётки с косекансной диаграммой направленности // Труды 20-й международной конференции «СВЧ – техника и телекоммуникационные технологии», КрыМиКо'10, Севастополь, 2010 г.

10. Овчинникова Е.В., Кондратьева С.Г. Многофункциональная антенная решётка для бортовой РЛС // Труды 7-й международной молодёжной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011», Севастополь, 2011 г.
11. Kondratieva S.G., Ovchinnikova E.V. Monopulse horn array antennas for space-based radar // IEEE Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2011 21th International Crimean Conference.
12. Voskresenskiy D.I., Ovchinnikova, E.V., Kondratieva S.G., Shmachilin P.A. Airborne array antennas with wide angle scanning // IEEE Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 2012 22nd International Crimean Conference.
13. Кондратьева С.Г. Пространственная антенная решётка с гексагональной структурой // Труды 9-й международной молодёжной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2013», Севастополь, 2013 г.
14. Овчинникова Е.В., Кондратьева С.Г., Гиголо А.И. Минимизация уровня бокового излучения в антенных решётках с пространственной гексагональной структурой // Тезисы докладов 12-й Международной конференции «Авиация и космонавтика – 2013», Москва, МАИ, 2013 г.
15. Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G., Zykov L.S., Shmachilin P.A. The On-Board Wide Angle Scanning Antenna Array // IEEE Xplore Antennas and Propagation (EuCAP), 2014 8th European Conference on.
16. Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G., Zykov L.S., Shmachilin P.A. The dual-band antenna system based on new generation transmit/receive modules for the on-board radar // IEEE Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014 24th International Crimean Conference.
17. Ovchinnikova E.V., Kondratieva S.G. Minimization of the SLL in antenna arrays of mobile systems // IEEE Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo), 2014 24th International Crimean Conference.