

ОТЗЫВ

на диссертацию Скобелева С.П. «Фазированные антенные решетки с секторными парциальными диаграммами направленности», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии»

Рецензируемая диссертация Скобелева С.П. «Фазированные антенные решетки с секторными парциальными диаграммами направленности» посвящена одному из важных и актуальных разделов теории и практики фазированных антенных решеток.

Актуальность поставленной задачи. Возрастающая роль ФАР в современных многочисленных технических приложениях настоятельно требуют дальнейшего развития теории антенных устройств, направленной на обоснование оптимальных путей проектирования и достижения максимальных характеристик ФАР при одновременном обеспечении наилучших экономических показателей антенных систем.

Важность проведения исследований в этом направлении обусловлена не только широким распространением и востребованностью ФАР в радиосистемах различного назначения – радиолокационных, связных, оборонных, радиоастрономических и т.д. но местом их базирования: наземные, морские, космические, подземные комплексы и т.д. В связи с этим своевременность и необходимость поставленной задачи является более чем оправданной.

Ключевое направление и цель многочисленных исследований диссертанта связано с решением проблемы оптимального формирования перекрывающихся подрешеток антенных элементов в бесконечной периодической ФАР, обеспечивающих, с одной стороны, реализацию максимального значения коэффициента усиления и формирование секторных диаграмм направленности (ДН) подрешеток в составе ФАР, а с другой стороны использование минимально необходимого количества элементов с гарантией не появления интерференционных побочных (дифракционных) боковых лепестков большой интенсивности. Таким образом, достигается значительный

экономический эффект, вызванный сокращением общего числа дорогостоящих управляемых приемопередающих антенных элементов – модулей (ППМ) – в полном составе ФАР при сохранении общей площади решетки.

Следует отметить, что соискатель в процессе выполнения диссертации использовал последние достижения современной науки в теории и технике антенн, о чем свидетельствует большое количество ссылок на отечественные и иностранные публикации в авторитетных изданиях и опирался в своих исследованиях на адекватные методы математической физики, численные методы решения интегральных уравнений, систем алгебраических уравнений большого порядка и экспериментальные методы антенных измерений.

Обоснованность и достоверность результатов исследований и выводов, сформулированных диссертантом, подтверждается как сравнением численных данных, полученных различными методами, экспериментальными данными и сравнением с некоторыми аналогичными результатами, приведенными в доступной литературе.

Необходимо отметить практическое значение результатов диссертационной работы. На основе полученных результатов определена новая методика проектирования ФАР с различными типами антенных элементов в широком частотном диапазоне, в частности волноводных излучателей, ребристых структур, выступающих диэлектрических и директорных антенн бегущей волны. Приводится перечень выполненных НИР`ских работ, в которых участвовал соискатель, а также полученных авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Сформулированы и доказаны основные положения, касающиеся новизны рецензируемой диссертации. К таковым относятся:

1. Утверждение об ортогональности парциальных секторных ДН.
2. Предложена многокаскадная «шахматная» схема формирования перекрывающихся подрешеток с секторными ДН.
3. Предложен подход к синтезу секторных ДН на основе решеток с двухмодовыми волноводами, а также решеток с использованием пассивных излучателей с реактивными нагрузками.

Особо следует отметить успешную деятельность соискателя в части публикации результатов своих исследований, так например, 27 статей в ведущих отечественных журналах, входящих в перечень ВАК, 12 статей в международных журналах, 25 статей в трудах международных МТК, 2 монографии и 7 авторских свидетельств на изобретения, причем половина публикаций выполнена автором единолично.

Краткая констатация основного содержания диссертации по главам можно свести к следующим положениям.

В первой главе проводится обоснование основных соотношений, определяющих структуру и свойства идеальных секторных ДН. Определены формы контуров области в ячейках – прямоугольной или гексагональной сеток размещения при 100% эффективности элементов. Рассмотрены свойства ортогональных идеальных контурных ДН. Доказывается также и ортогональность амплитудных распределений поля в раскрыве, соответствующих ортогональным идеальным контурным ДН.

Во второй главе диссертации представлены результаты исследования так называемой «шахматной» схемы построения диаграммообразующей схемы (ДОС), с излучателями произвольного вида, возбуждаемые симметричными двухканальными делителями мощности. Ранее синтез ДОС такого типа анализировались в частности в [1], [2], однако в диссертации получены новые результаты, свидетельствующие о возможностях шахматных схем при формировании секторных ДН более высокого качества работающих в более широкой полосе частот.

Представленные в этой главе данные экспериментальной проверки подтвердили выводы теоретических исследований.

В третьей главе предлагаются двумерные модели решеток на связанных двухмодовых волноводах на базе щелей стенках волноводов. Математическая основа такого подхода опирается на метод обобщенных матриц рассеяния, сводящийся к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных амплитуд волн в частичных областях структуры. Последующая оптимизация геометрии структуры позволила определить

размеры щелей связи, расстояния между ними и переходами, обеспечивающие наилучшее соотношение амплитуд первых двух мод и синфазное сложение комплексных ДН, отвечающих различным модам.

Существенным достоинством этого раздела является то, что теоретические исследования сопровождаются результатами экспериментальных измерений характеристик линейной решетки прямоугольных волноводов, связанных через щели в общих узких стенках в 3% полосе частот в K_u -диапазоне. Хорошее согласие между расчетом и экспериментом подтверждают справедливость теоретических прогнозов о стабильности формы секторной ДН в указанной частотной полосе. Следует также отметить достаточное количество публикаций этих материалов в работах соискателя.

Важной проблеме исследованию волноводных решеток с реактивными нагрузками в виде короткозамыкателей посвящена четвертая глава диссертации. Система таких короткозамкнутых волноводов образует модулированные ребристые структуры, которые позволяют за счет внешних взаимных связей между излучателями по свободному пространству создавать перекрывающиеся подрешетки, обеспечивающие формирование заданных секторных ДН.

Необходимо упомянуть, что подобной задачей в 60-х годах прошлого века успешно занимался российский ученый А.Ф. Чаплин с сотрудниками [3], используя методы наилучшего равномерного приближения к заданной функции и целевые функционалы минимаксного типа. Здесь также приведено подтверждение теоретических расчетов результатами экспериментальных исследований.

В пятой главе представлены результаты исследований решеток волноводов с выступающими диэлектрическими элементами, между которыми существует заметная взаимная связь по пространству, которое также может быть использована для формирования перекрывающихся подрешеток с секторными и контурными ДН. При этом по сравнению с ранее рассматривавшимися вариантами установки диэлектрических элементов в

данном случае образуется частичное заполнение диэлектриком верхних секций волноводных раскрытов. Это дает дополнительную степень свободы обеспечения согласования раскрытов, а наличие ступенчатых переходов позволяет провести согласование с возбуждающими однододовыми волноводами нижних секций.

Искомые поля в случаях Е и Н – поляризаций падающих и отраженных волн для различных питающих, промежуточных и выходных секций путем их последующего проекционного сшивания позволяют определить коэффициенты отражения и прохождения отдельных мод.

Как и в предыдущих главах, результаты расчетов подтверждены не только данными экспериментальных проверок на макетах антенных решеток, но и путем сравнения с известными публикациями.

В заключительной шестой главе диссертации изложены результаты численного и экспериментального моделирования некоторых периодических решеток в виде ребристых стержней и их модификаций, ленточных и дисковых структур, а также директорных элементов. Расчетные методики для этих моделей опираются также на процедуры проекционного сшивания волноводных и пространственных гармоник в сочетании с методом интегральных уравнений для токов на лентах с последующим сведением к СЛАУ и применением метода Галеркина с синусоидальными базисными функциями.

Фрагмент антенной решетки с дисковыми структурами в диапазоне 30 ГГц был изготовлен по специальной технологии и сравнение экспериментальных результатов с расчетными показало их хорошее совпадение.

Переходя к общей оценки диссертационной работы Скобелева С.П. необходимо подчеркнуть, что практически при всех теоретических расчетах многих вариантов периодических антенных решеток соискатель использовал результаты экспериментальных исследований фрагментов рассматриваемых периодических структур и демонстрировал хорошее соответствие расчетных и измеренных характеристик на макетах решеток.

Полученные новые результаты можно характеризовать как крупный вклад в теорию и технику фазированных антенных решеток, о чем свидетельствует большое количество публикаций и патентов, представленных не только в ведущих отечественных научно-технических журналах, а также в известных зарубежных изданиях, в том числе и в двух монографиях автора.

Вместе с этим следует сделать ряд замечаний по диссертационной работе соискателя.

1. В обзорной части по общей теории бесконечных периодических фазированных антенных решеток следовало бы, на наш взгляд, сделать оговорку относительно необходимости последующего уточнения выводов и рекомендаций применительно к антенным решеткам конечных размеров. Тем более, что плоские ФАР конечных размеров могут иметь разнообразную форму своего раскрыва и для парциальных ДН могут нарушаться свойства ортогональности.
2. При практической реализации фазовых распределений, обеспечивающих законы фазирования, близкие к линейным, в силу дискретного характера используемых фазосдвигающих элементов качество формирования идеальных секторных ДН может нарушаться.
3. В процессе анализа секторных парциальных ДН не рассматривались фазовые характеристики локальных ФАР, формирующих парциальную ДН, хотя для отдельных прикладных задач (радиолокация, радионавигация, РСДБ) знание этих характеристик имеет большое значение. Однако используемые вычислительные процедуры позволяли указанные результаты рассматривать и анализировать в интересах упомянутых систем.

Приведенные замечания ни в коей степени не снижают общей высокой оценки рецензируемой диссертации, представляющей заметный вклад в теорию антенн и фазированных антенных решеток.

ФИО: Гусевский Владлен Ильич, д.т.н., профессор

Должность: Главный научный сотрудник

Организация: ОАО "ОКБ МЭИ"

Тел.: 8(495) 362 56 52

Адрес: 111250, г. Москва, Красноказарменная ул., д. 14