

УДК 621.396.6

Многодиапазонные излучатели для активных фазированных антенных решёток (обзор)

Зыков Л. С.

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия
zykovlev@gmail.com

Аннотация.

В статье рассмотрены виды излучателей для активных фазированных антенных решёток для двух диапазонной и широкополосной работы. Представлены варианты построения излучателей, выпускаемых в России и в других странах. Приведены характеристики рассматриваемых антенн.

Ключевые слова: фазированные антенные решётки, многодиапазонные антенны, широкополосные антенны.

Введение

В настоящее время многодиапазонные системы становятся всё более популярными и востребованными практически во всех областях. Совмещая многодиапазонное функционирование с системами активных фазированных антенных решёток, возможно получение многофункциональной РЛС, ограничения которой в большей степени связаны с применением. Это особенно актуально для мобильных объектов, на которых устанавливаются антенные системы. К примеру, при установке активной антенной решётки на летательный аппарат ([1]) возникают сложности в создании эффективной распределительной системы, облегчении и уменьшении габаритов конструкции, расширении сектора сканирования и пр. При установке антенной системы на наземную РЛС требования к массогабаритным

параметрам смягчаются и на первое место становится надёжность работы при постоянном функционировании. Многодиапазонное функционирование достигается или широкополосной/сверхширокополосной работой антенной системы, или обеспечением совмещённой работы, или перестраиваемостью системы. При осуществлении первого метода основная сложность заключается в том, что чем больше разброс требуемых частот, тем труднее поддерживать равномерность частотного согласования антенны для этих частот. Недостатком второго способа является решение проблем, связанных с взаимным влиянием элементов. При третьем способе слабым местом системы становится необходимость переключения частоты, из-за чего падает надёжность системы и необходимо усложнять распределительную систему [2].

Цель работы - поиск и систематизация технических решений, обеспечивающих функционирование существующих систем многодиапазонной работы.

Многодиапазонные излучатели

Существующие аналоги активных многодиапазонных антенных решёток делятся на многодиапазонные и широкополосные. Также следует отметить, что для максимальной эффективности работы многодиапазонной системы используется активное исполнение системы.

В [3] приводится экспериментальная низкопрофильная антенная система на основе частично отражающих поверхностей с электрической запрещённой зоной (рис. 1). Такая решётка позволяет получить полосу до 15% за счёт использования тонкого частично отражающего материала, на который нанесены металлические пластинки. Возбуждение такой системы происходит за счёт фидерной антенны, напечатанной на заземляющей пластине.

Авторы статьи [3] утверждают, что при обеспечении возможности перестраиваемости размеров ячеек, кроме широкополосности, будет возможность создать многодиапазонную антенную систему.

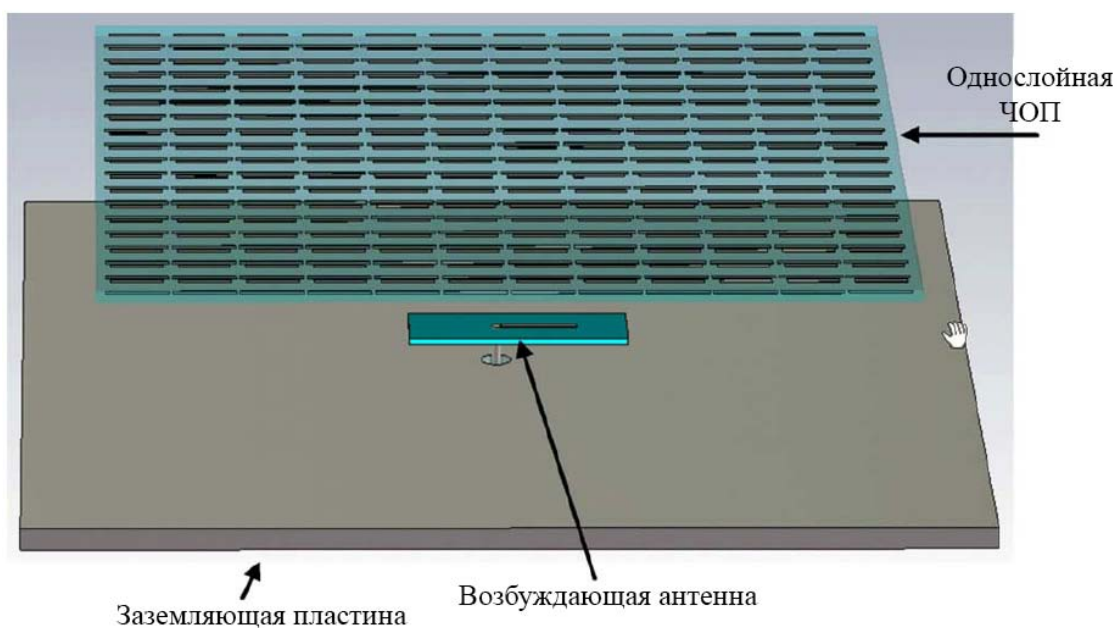


Рис. 1. Низкопрофильная широкополосная антенная решётка с использованием частично отражающих поверхностей (ЧОП) и электрической запрещённой зоной.

На рис. 2 показаны частотные характеристики вышеприведённой антенной системы.

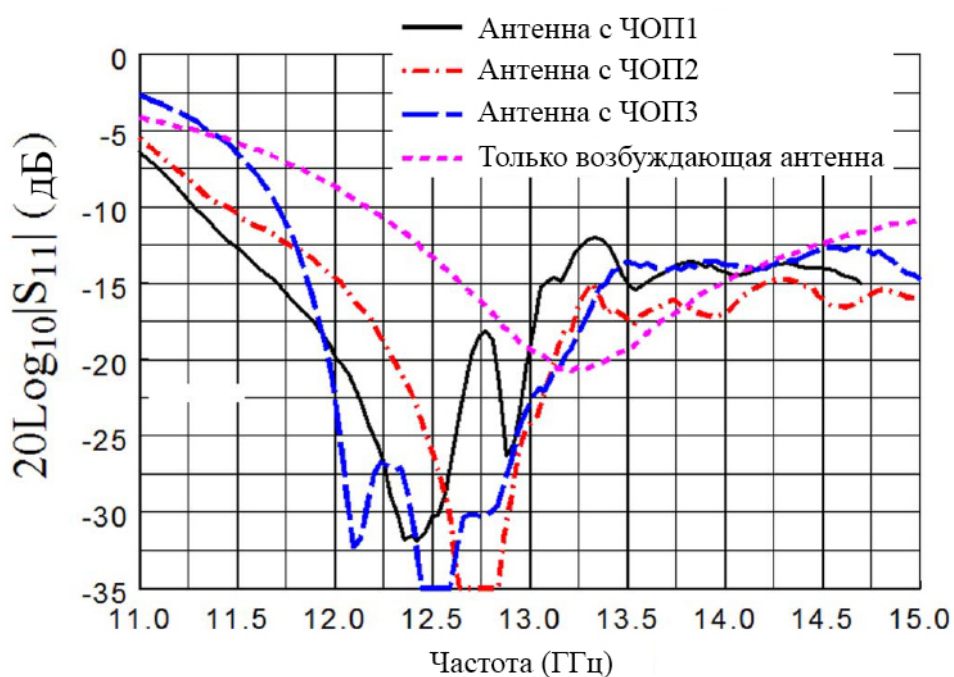


Рис. 2. Частотные характеристики низкопрофильной широкополосной антенной решётки с использованием частично отражающих поверхностей и электрической запрещённой зоной

Данная система может оказаться очень привлекательной для бортовых активных антенных систем, так как обладает компактными размерами и низкопрофильностью, однако основным недостатком данной системы является сложность перестраиваемого устройства, так как показанные на рис. 2 кривые, обозначенные как ЧОП1, ЧОП2 и ЧОП3, различаются, в основном, размерами пластинок на частично отражающей поверхности (эти различия не превышают 1 мм) и отражающими свойствами. Следует отметить, что при помощи активных элементов возможно изменение свойств проводимости частично отражающих поверхностей, что может изменить диапазон работы всей системы, однако установка активных средств перестройки снизит КПД системы и её надёжность.

На рисунке 3 показаны диаграммы направленности вышеприведённой антенной системы для различных диапазонов частот.

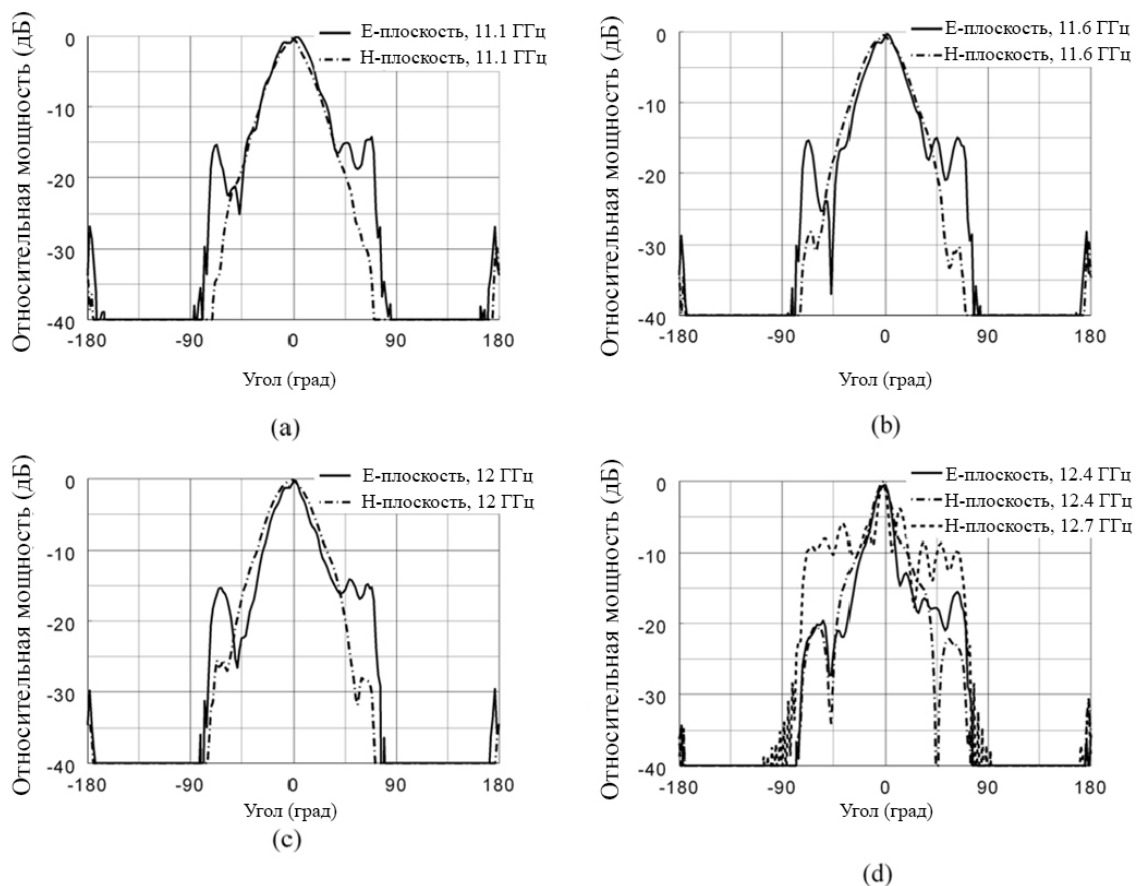


Рис. 3. Диаграммы направленности низкопрофильной широкополосной антенной решётки с использованием частично отражающих поверхностей и электрической запрещённой зоны

В [4] рассмотрена широкополосная рупорная антенна. Н-образный рупор возбуждается микрополосковой линией с помощью согласующего перехода, показанного рис. 4.

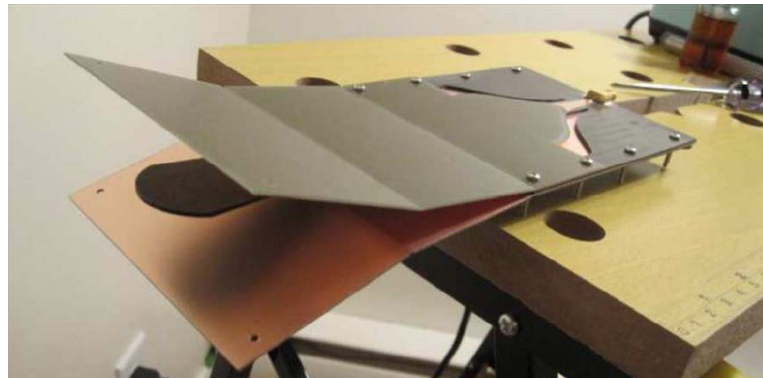


Рис. 4. Микрополосковый согласующий переход между линией передачи и Н-секториальным рупором.

Такой излучатель может быть использован как в зеркальных системах, так и в составе антенной решётки. Преимущество данного излучателя в том, что для него не требуется громоздкая волноводная система распределения. Однако данное преимущество реализуется путем увеличенных размеров излучателя. Аналогичные излучатели получили название TEM-рупоры и нашли практическое применение в качестве широкополосных антенн измерительных комплексов и систем радиоэлектронной борьбы [5]. Они также используются для излучения сверхширокополосных сигналов. TEM-рупоры имеют различные модификации. На рис.5 показаны варианты исполнения TEM-рупоров с экспоненциальным и линейным изменением расстояния между пластинами.

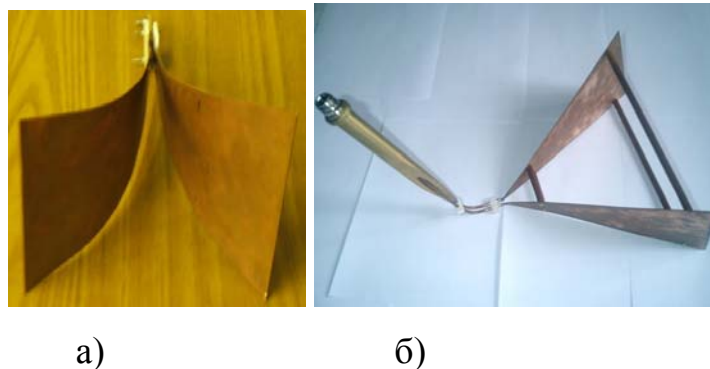


Рис.5 .Варианты исполнения TEM-рупоров: а - с экспоненциальным; б – с линейным изменением расстояния между пластинами

Диаграммы направленности такой системы при работе в азимутальной и угломестной плоскостях на частоте 9 ГГц изображены на рис. 6. S-параметры антенны изображены на рис. 7.

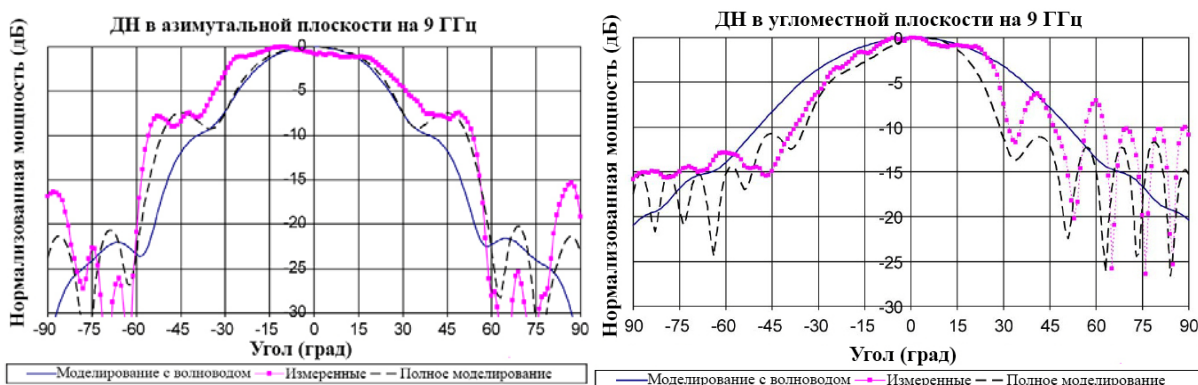


Рис. 6. Диаграммы направленности H-образного рупора в азимутальной и угломестной плоскостях на частоте 9 ГГц.

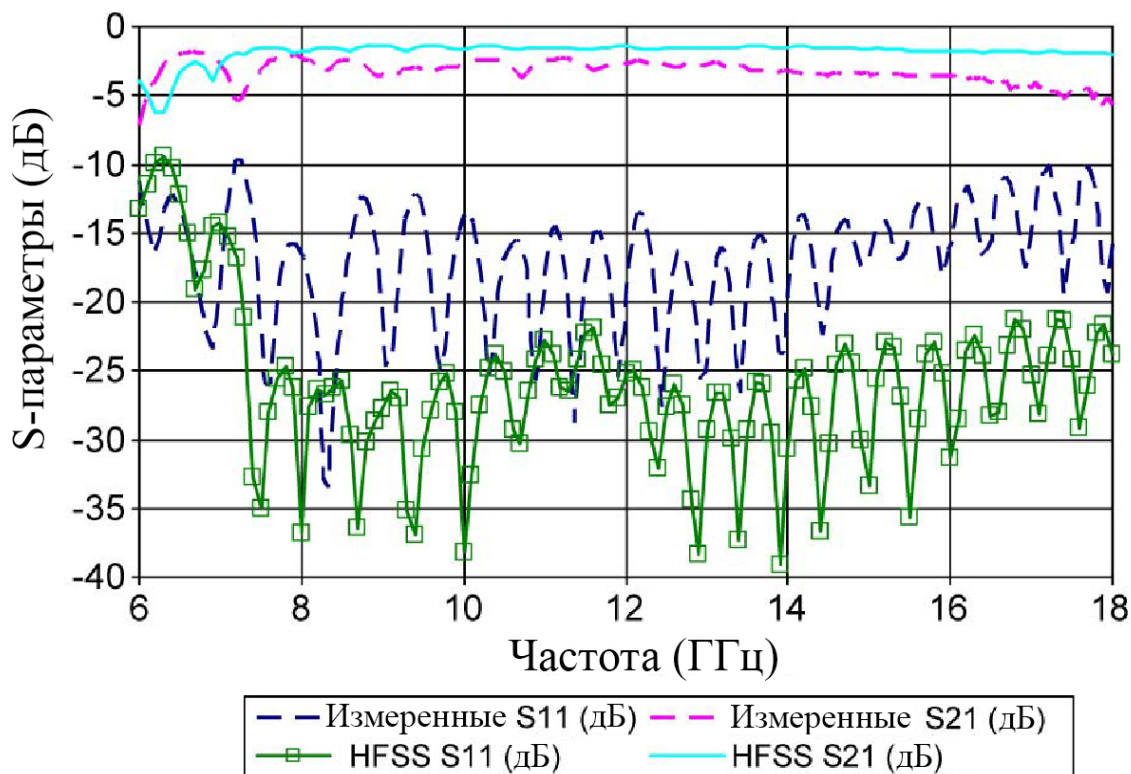


Рис. 7. S-параметры микрополоскового согласующего перехода между линией передачи и H-секториальным рупором.

Наиболее широкополосным на сегодняшний день типом излучателя является излучатель Вивальди [5] (рис. 8).

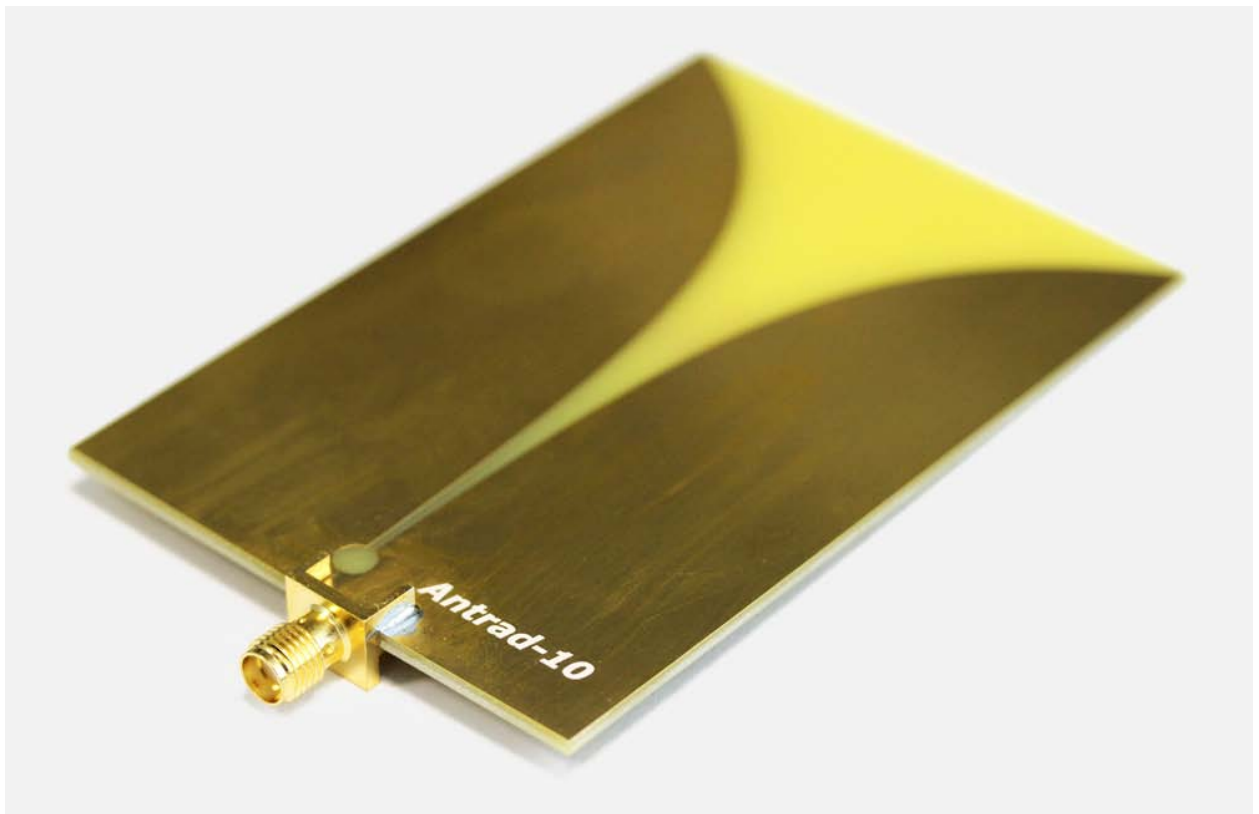


Рис. 8. Излучатель Вивальди.

Из рис. 9 видно, что ширина полосы данного излучателя составляет несколько октав при КСВН ниже 1.5.

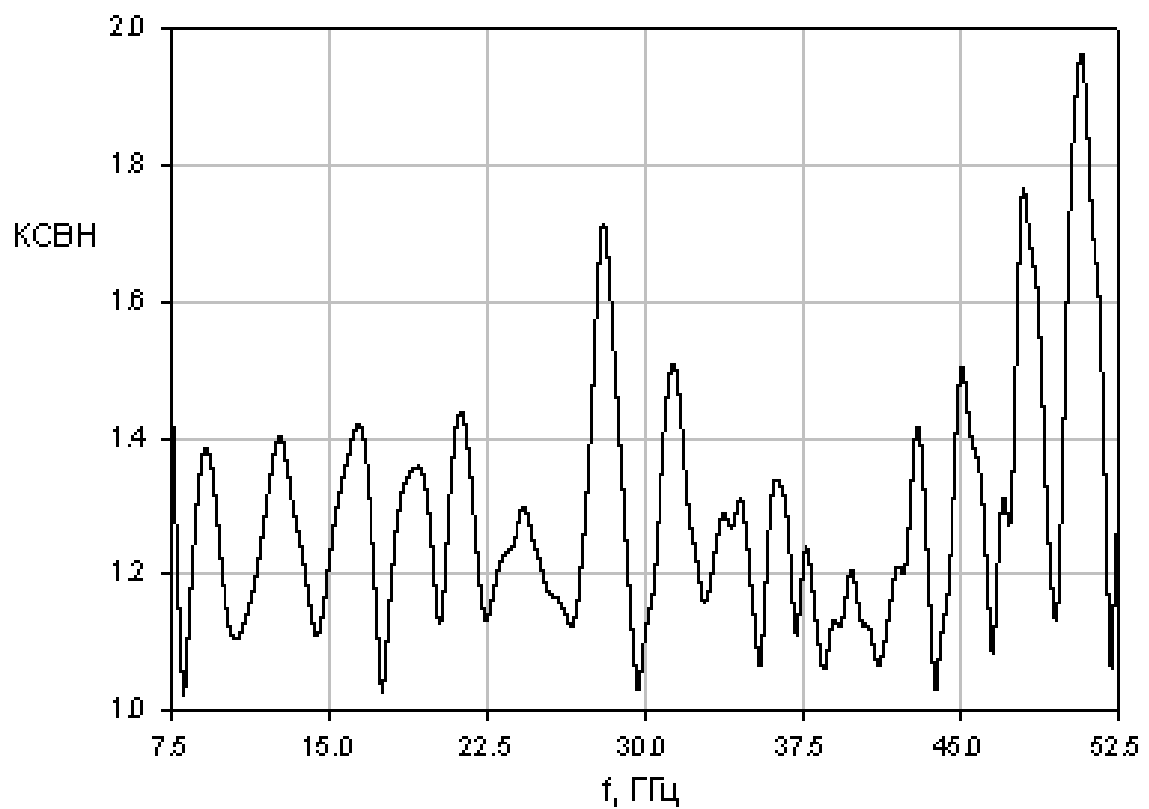


Рис. 9. КСВН излучателя Вивальди.

На рис. 10 приведены диаграммы направленности излучателя Вивальди при частотах 7.5 ГГц, 30 ГГц и 52.5 ГГц в азимутальной плоскости. На рис. 11 приведены диаграммы направленности излучателя Вивальди при частотах 7.5 ГГц, 30 ГГц и 52.5 ГГц в угломестной плоскости.

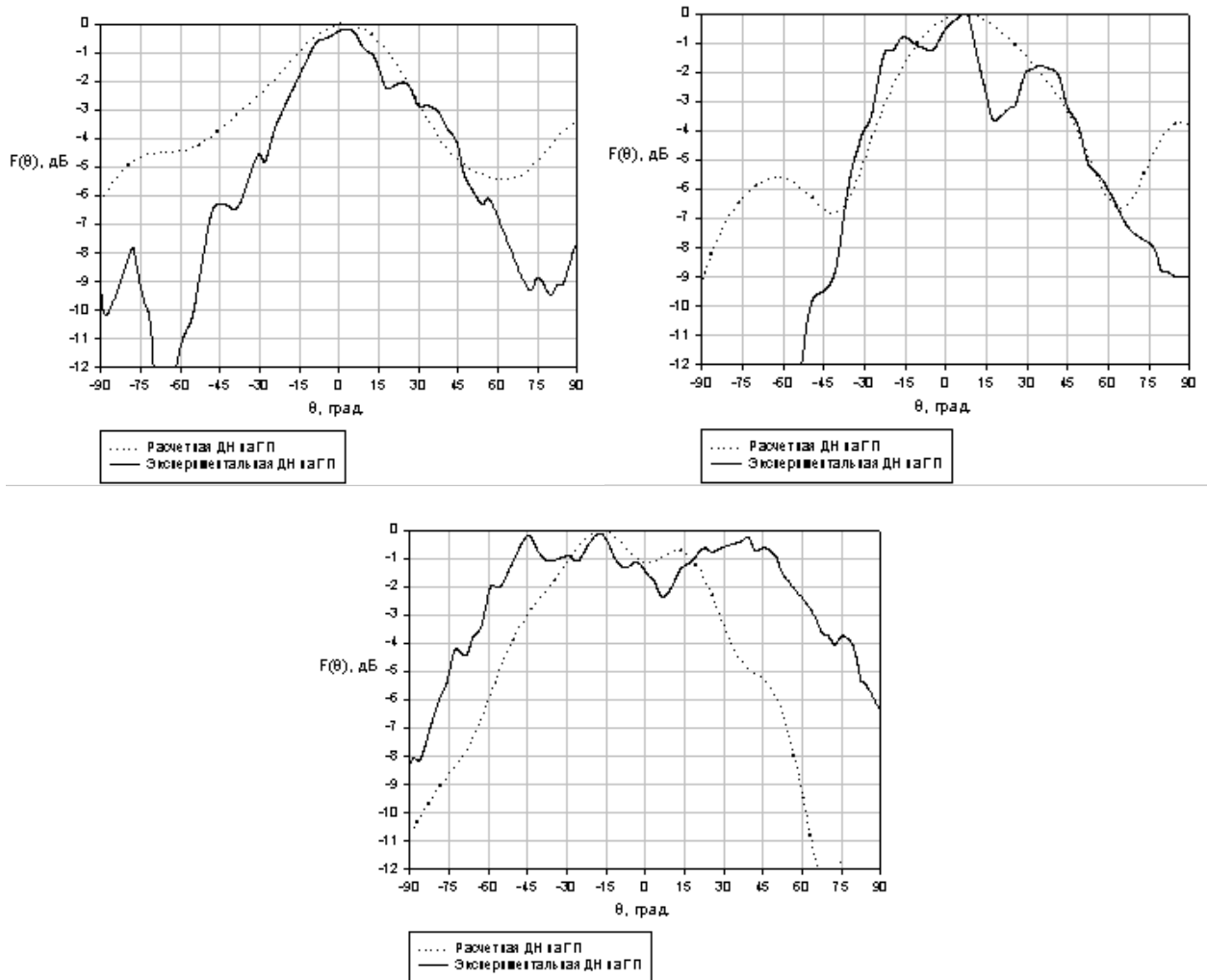


Рис. 10. Диаграммы направленности излучателя Вивальди в азимутальной плоскости.

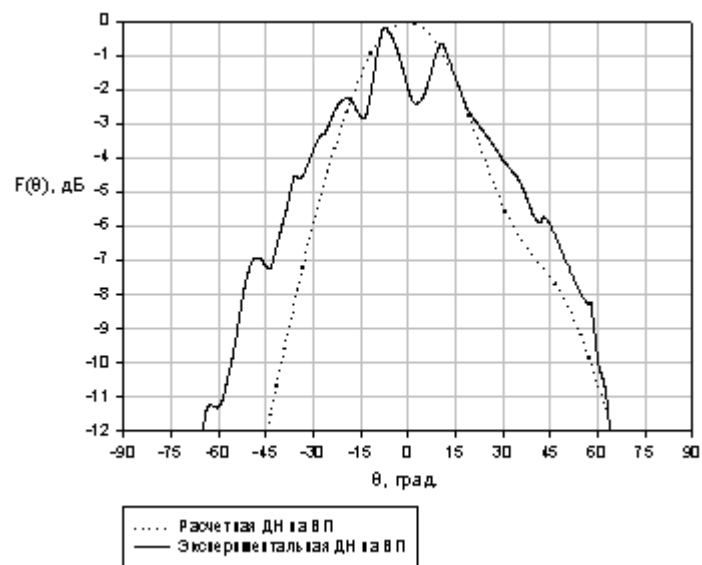
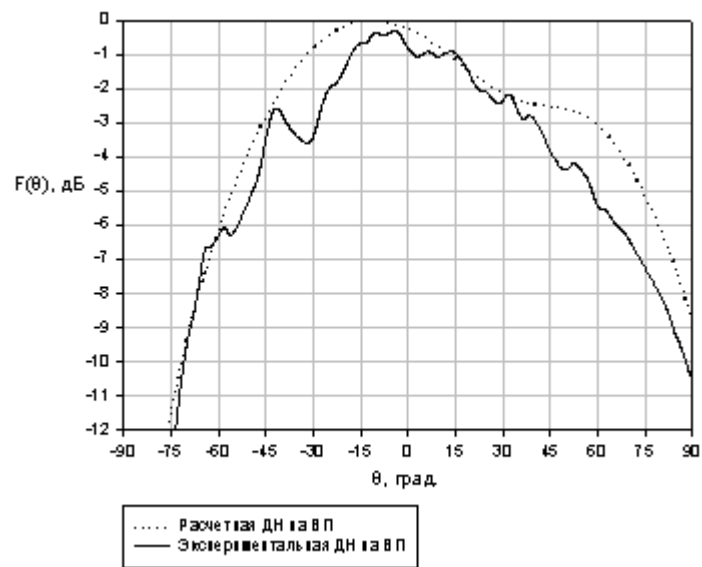
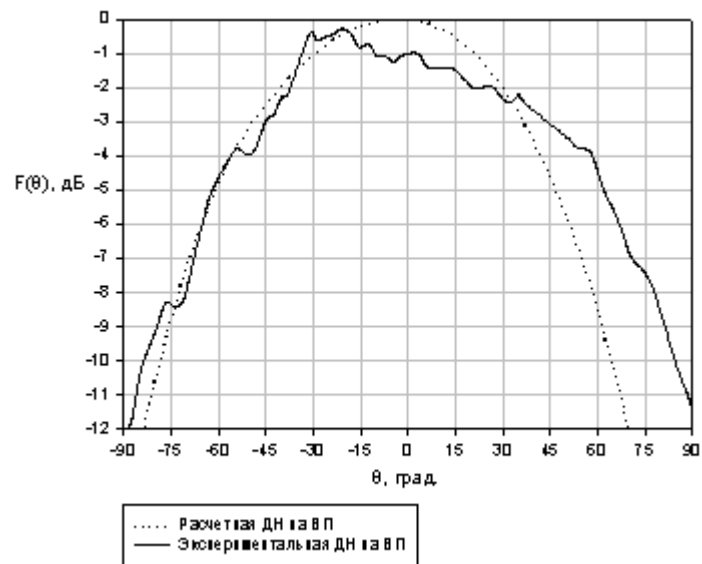


Рис. 11. Диаграммы направленности излучателя Вивальди в угломестной плоскости.

Как видно из рисунков 9-11, несмотря на широкополосность излучателя Вивальди, его диаграмма направленности по уровню -3 дБ для некоторых видов РЛС является довольно узкой или недостаточно равномерной.

Для увеличения широкоугольности ДН системы возможно применение излучателя типа «Бабочка» [7] (рис. 12)

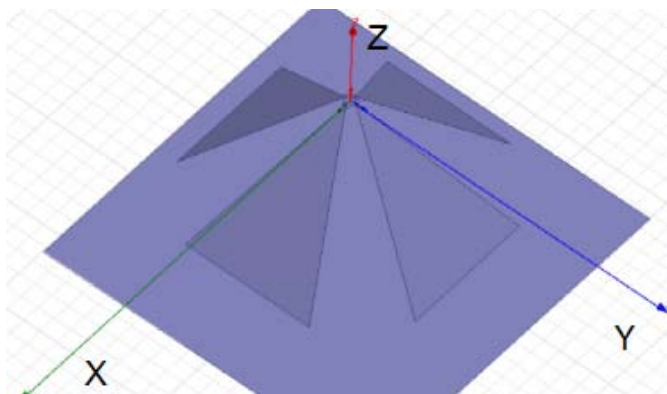


Рис. 12. Схема расположения излучателя типа «Бабочка».

В [7] подтверждено, что излучатель типа «бабочка», размещённый над экраном, позволяет увеличить сектор сканирования излучателя типа «бабочка», расположенного на экране [8]. На основе работы [7] были получены модели такого излучателя (рис. 12) с широкоугольными диаграммами направленности ($>100^\circ$) при относительно широкой полосе пропускания (30%) [8] (см. рис. 13 и 14).

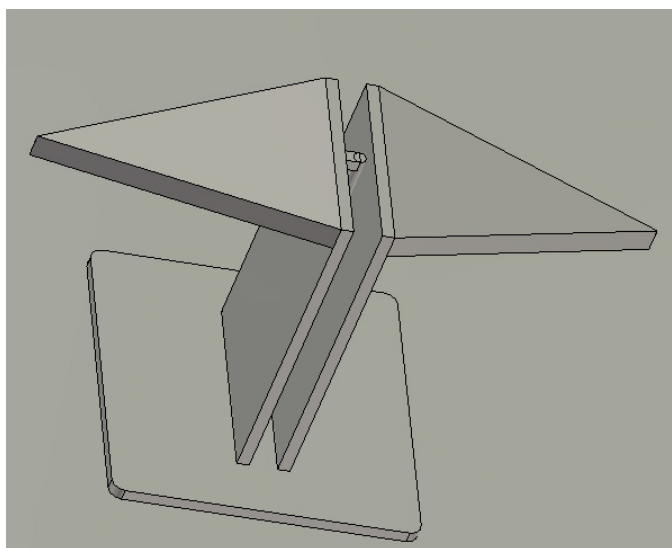


Рис. 12. Модель излучателя типа «бабочка» с наклонёнными плечами.

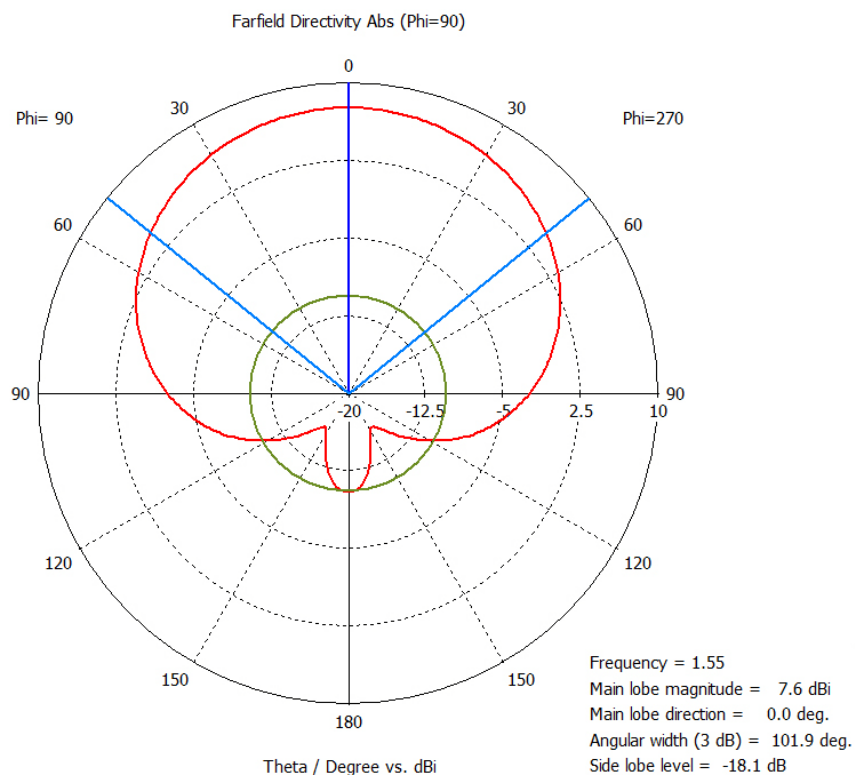


Рис. 13 Диаграмма направленности излучателя типа «бабочка» с наклонёнными плечами в L-диапазоне.

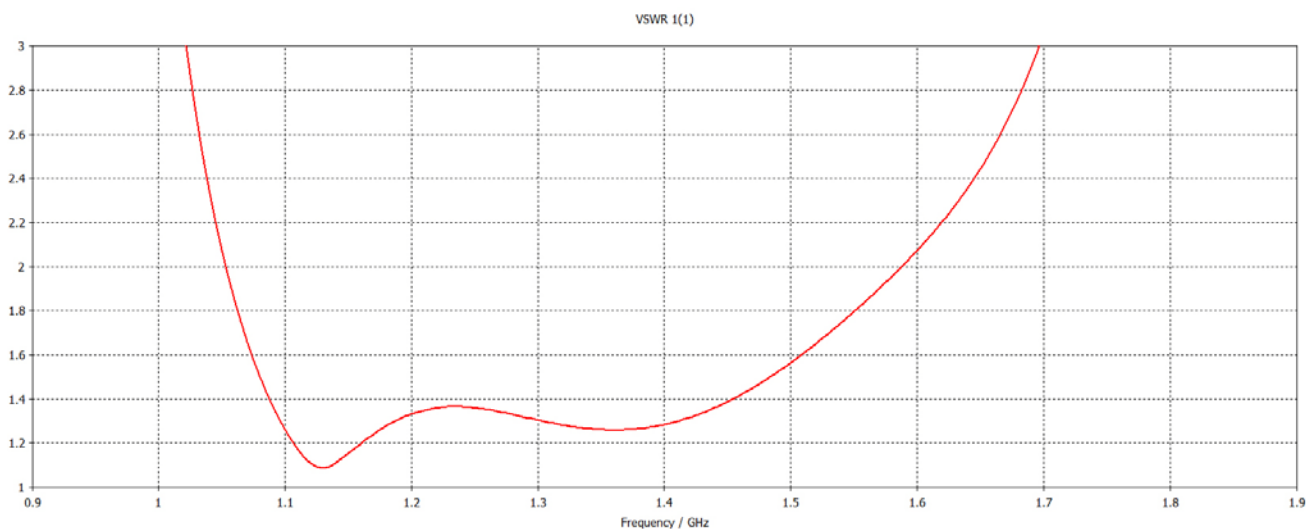


Рис. 14. КСВ излучателя типа «бабочка» с наклонёнными плечами в L-диапазоне.

Несмотря на то, что излучатели в [8] и [9] предназначен для работы в L-диапазоне, эквивалентным преобразованием размеров излучателя возможно получить аналогичные характеристики для других диапазонов.

Заключение

Приведен обзор существующих широкополосных и многодиапазонных антенн, которые могут быть использованы при построении радиотехнических систем различного назначения. Из анализа изученной литературы видно, что на текущий момент для поддержки компактности антенных устройств чаще используются решения, основанные на печатных элементах. Недостатком таких решений может являться сложность в реализуемости и использование не самых эффективных подходов для достижения многодиапазонности. Например, использование перестраиваемых излучателей сильно снижает надёжность системы, что даже с учётом достижения нескольких диапазонов работы применение метода не оправдано. Наиболее перспективными для изучения являются широкополосные и сверхширокополосные излучатели, так как благодаря изначально широкой полосе работы излучателя, возможно частично пожертвовать частью полосы для получения желаемой диаграммы направленности. Исходя из накопленных данных, видно, что проблема широкополосности существующих на данный момент устройств актуальна и требует дальнейшего изучения. Также существует часть работ, посвящённых оптическим антенным системам, однако для их реализации на текущий момент представлена довольно скудная и дорогостоящая элементная база.

Библиографический список

1. Кондратьева С.Г., Овчинникова Е.В., Гиголо А.И. Минимизация уровня бокового излучения в антенных решетках с пространственной гексагональной структурой / Международная конференция "Авиация и космонавтика - 2013", 12-15 ноября 2013, Москва, С. 482-484.
2. Analyzing the Complexity and Reliability of Switch-Frequency-Reconfigurable Antennas Using Graph Models / J. Costantine, Y. Tawk, C.G. Christodoulou, J.C. Lyke, F. De Flaviis, A. Grau Besoli and S.E. Barbin // IEEE Transactions on Antennas And Propagation Magazine - February 2012, vol. 60, #2, P.811-P.820.

3. The Use of Simple Thin Partially Reflective Surfaces With Positive Reflection Phase Gradients to Design Wideband, Low-Profile EBG Resonator Antennas / Yuehe Ge, Karu P. Esselle and Trevor S. Bird. / IEEE Transactions on Antennas And Propagation Magazine - February 2012, vol. 60, #2, P743-P750.
4. Wideband Dielectrically Guided Horn Antenna with Microstrip Line to H-Guide Feed / Michael Wong, Abdel Razik Sebak and Tayeb A. Denidni / IEEE Transactions on Antennas And Propagation Magazine - February 2012, vol. 60, #2, P725-P734.
5. Моделирование малогабаритных сверхширокополосных антенн: Монография / Под ред. В.Б. Авдеева и А.В. Ашихмина. – Воронеж, Изд-во ВГУ, 2005.- 223 с.
6. Самарский С. Г. Широкополосная печатная антенна. // Вопросы специальной радиоэлектроники. Москва-Таганрог. 2004. Вып.1. – С. 47-49.
7. Бохин Д.Л. Исследование характеристик широкополосных излучателей с диаграммой направленности, близкой к полусфере // Радиотехника. Антенны. 2014. вып. 2. С. 34-37.
8. Воскресенский Д.И., Овчинникова Е.В., Буй Као Нинь, Широкополосные антенны для сотовых телефонов. // Радиотехника. Антенны. 2014. Вып. 2. С. 27-30.
9. Зыков Л.С., Кондратьева С.Г., Овчинникова Е.В., Шмачилин П.А. Широкополосный излучатель для бортовой совмещённой антенной решётки. Сборник тезисов докладов. Московская молодёжная научно-практическая конференция «Инновации в авиации и космонавтике— 2014». 22–24 апреля 2014 года. Москва. С. 150–151.