УДК 621.396.673

Антенна Вивальди на основе интегрированного в подложку волновода для сверхширокополосных автомобильных локаторов К-диапазона частот

В.В. Демшевский, А.А. Цитович, М.В. Папёнышев

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: В работе проведено исследование характеристик печатных антиподных антенн Вивальди на основе интегрированных в подложку волноводов с различной формой излучающего раскрыва. В ходе проведения электродинамических расчетов установлено, что форма излучающего раскрыва существенно влияет как на коэффициент усиления антенн, так и на их характеристики согласования в полосе частот.

Ключевые слова: антенна Вивальди, коэффициент усиления, сверхширокополосная антенна, интегрированный в подложку волновод

1. Введение

Одним из путей развития современных радиолокационных систем является переход к сигналам с широкой и сверхширокой полосой частот. Актуален такой переход по ряду причин, таких как: ограниченное время наблюдения, рост требований к информационным возможностям систем и необходимость увеличения разрешающей способности по дальности.

Основные технические трудности при обеспечении параметров сверхширокополосных (СШП) систем часто связаны с обеспечением рабочей полосы антенно-фидерной части, которая оказывается в этом случае критическим звеном с точки зрения достижения всей совокупности характеристик в сверхширокой полосе. [1]

Публикации в научной литературе по указанной тематике в последние десять лет показывают лавинообразный рост публикаций на тему СШП печатных антенн и их применения в связных, локационных, измерительных и пеленгационных РЭС. Основное направление работ по созданию печатных СШП антенн нацелено на разработку топологий, обладающих требуемыми характеристиками излучения в частотной и временной областях, малыми масогабаритными параметрами, удобством интеграции с приемо-передающими модулями, технологичностью и дешевизной производства.

2. Исследование характеристик антенн

Традиционно многие автомобильные локаторы используют частоты в диапазоне 24 ГГц. Для автомобильной промышленности в настоящее время доступны как узкополосные, так и сверхширополосные системы. Нерегулируемая частота 24 ГГц охватывает диапазон в 200 МГц, от 24.05 ГГц до 24.25 ГГц. СШП системы охватывают полосу 5 ГГц, от 21.65 ГГц до 26.65 ГГц.

Наиболее подходящим вариантом конструкции СШП-антенны является антенна Вивальди, которая позволяет обеспечить достижение приемлемой импульсной характеристики при относительно небольших размерах, и обеспечить требуемые параметры диаграммы направленности (ДН). [1]

Форма раскрыва антенны Вивальди напрямую влияет на ее частотные характеристики и характеристики направленности, поэтому на практике встречается

несколько конфигураций, основные из которых представлены на Рис.1 ниже.

Возбуждение антенны Вивальди может осуществляться несколькими способами. Самые распространенные среди них - это при помощи микрополосковой линии и при помощи щелевого возбуждения, как показано на Рис.2 (а, б).

Однако, развитие современной микросистемой техники привело к появлению новых трехмерных СВЧ-структур - SIW (Substrate Integrated Waveguide – интегрированный в подложку волновод), которые представляют собой волноводоподобные элементы, созданные двумя рядами металлических цилиндров в диэлектрической подложке, соединяющих два параллельных слоя металлизации [2]. В результате, не планарный прямоугольный волновод может быть изготовлен в планарной форме с применением существующих технологий производства печатных плат.

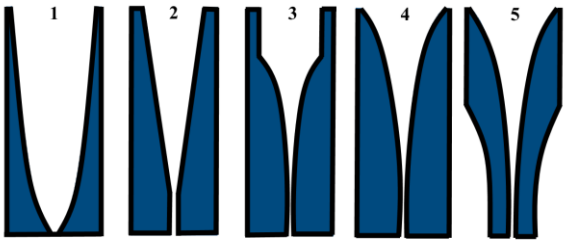
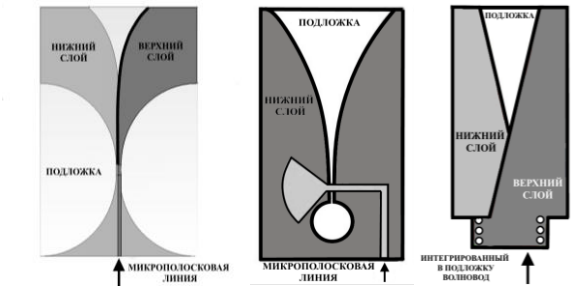


Рисунок 1. Основные формы раскрывов антенны Вивальди: 1 – Параболический, 2 – Линейный, 3 – Ферми, 4 – Вивальди, 5 – Двух-экспоненциальный



а б в

Рисунок 2. Способы возбуждения антенн Вивальди: 1 – Микрополосковый, 2 – Щелевой, 3 – При помощи SIW

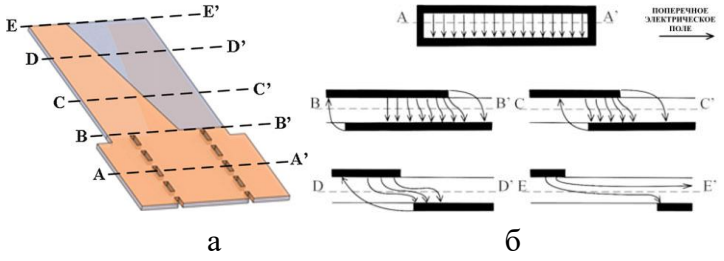
С появлением интегрированных в подложку волноводов, появился и еще один способ возбуждения электромагнитного поля в антеннах Вивальди на их основе. Антиподная щелевая антенна на основе SIW была представлена Hao Z-C и др. в работе «A novel feeding technique for antipodal linearly tapered slot antenna array» (2005г.).

В антиподной версии антенны Вивальди (Рис.2 - в), металлизация на каждой стороне подложки раскрывается в противоположных направлениях, образуя конусообразную щель. Когда для возбуждения используется интегрированный в подложку волновод, ограничение полосы пропускания, вызванное балансировкой, убирается, и, таким образом, становится возможным обеспечение широкой полосы рабочих частот.

У антенн Вивальди на основе интегрированного в подложку волновода есть много преимуществ, таких как низкий профиль, малый вес, широкополосность и относительно легкая возможность интеграции с другими планарными устройствами. Следует отметить, что такие антенны очень чувствительны к толщине и диэлектрической проницаемости подложки. Возможно образование более высоких

кроссполяризационных лепестков в плоскости (E или H) и боковых лепестков в плоскости H. Это замечание необходимо учитывать не только при разработке отдельных антенн, но и антенных решеток на их основе. Влияние свойств материала и формы антенн, а также их взаимная связь широко изучались для односторонних печатных антенн, в отличие от антиподной версии на основе интегрированного в подложку волновода.

Процесс преобразования E-поля в различных плоскостях среза перехода показан на Рис.3-б. Коническое антиподное расширение плавно преобразует волноводную моду TE10 (Рис. 3, разрез A-A') в квази-микрополосковую моду, которая распространяется в области перекрывающихся антиподных переходных ребер (Рис. 3 - разрезы B-B' и C-C'). Поле E в области перехода концентрируется и вращается почти на 90 градусов, пока режим волновода не перейдет в режим квази-щели (Рис. 3, разрез D-D'). Плавное преобразование поля позволяет переходу работать в широкой полосе частот. Участок от B-B' до C-C' работает как симметрирующий трансформатор и трансформатор сопротивления. Кроме того, участок от B-B' до C-C' преобразует импеданс волноводной моды TE10 в высокий импеданс компоненты в щелевой части. [2]



а б

Рисунок 3. а – зоны антиподной антенны Вивальди на основе интегрированного в подложку волновода, б – электрическое поле в различных поперечных сечениях при переходе от волновода к торцу антенны Вивальди

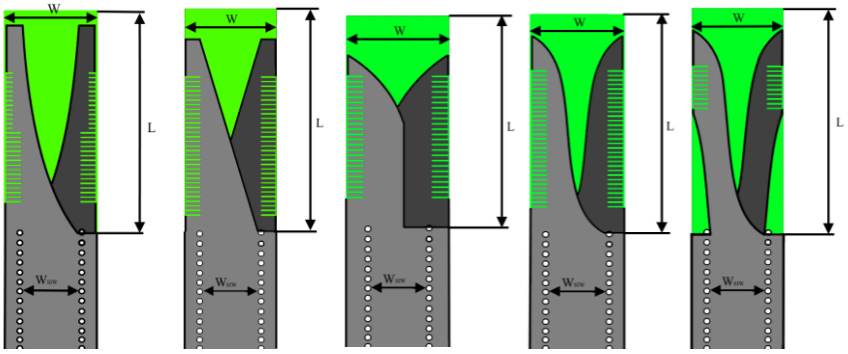
В представленной статье рассматривается работа антиподных антенн Вивальди на основе интегрированных в подложку волноводах с основными типами излучающих раскрывов (Рис.4) в диапазоне частот 22-26 ГГц. Материал диэлектрической подложки – тефлон (ε=2.1). Толщина подложки h=1 мм. Высота антенн L=29 мм, ширина антенн W=12 мм.

Основные требования, предъявляемые к антеннам:

а) КСВН в исследуемой полосе частот – не более 2;

б) Изменение коэффициента усиления в полосе частот не более 1,5 дБ;

в) Коэффициент усиления (КУ) – не менее 8 дБ.



A-1 A-2 A-3 A-4 A-5

Рисунок 4. Различные типы излучающих раскрывов антенн Вивальди на основе интегрированного в подложку волновода

После проведения серии электродинамических расчетов были получены следующие результаты:

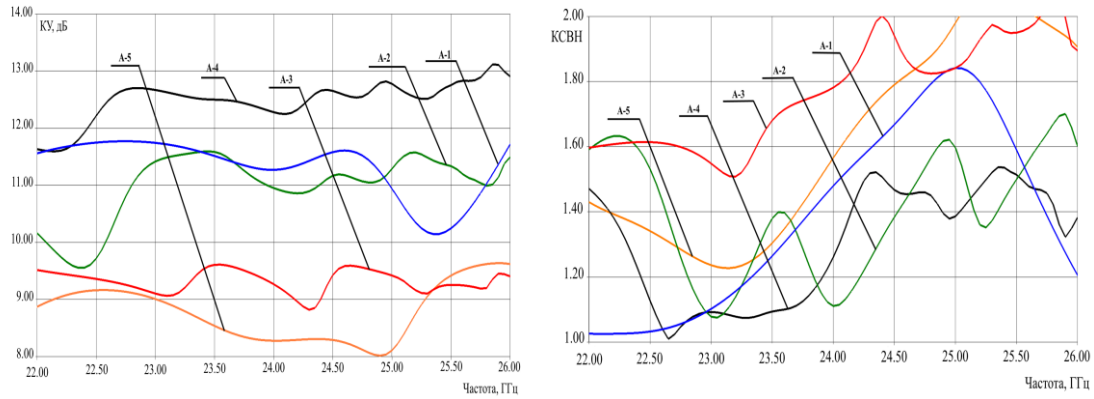


Рисунок 5. а-Изменение КУ в исследуемой полосе частот, б- изменение КСВН в исследуемой полосе частот

Таблица 1. Параметры исследуемых антенн

Параметр / Антенна	Ширина ДН в азимутальной плоскости (-3 дБ), град.	Уровень боковых лепестков в азимутальной плоскости, дБ	Ширина ДН в угломестной плоскости (-3 дБ), град.	Уровень боковых лепестков в угломестной плоскости, дБ
A-1	43.1°	-9.8	45.4°	-14.7
A-2	38.9°	-17.2	53.5°	-15.3
A-3	40.0°	-11.5	57.1°	-10.2
A-4	40.3°	-16.8	44.6°	-11.1
4-5	58.0°	-11.5	45.5°	-5.5

Проведем сравнение полученных характеристик исследуемых антенн Вивальди. Полученные графики изменения КУ и КСВН в исследуемой полосе частот приведены на Рис. 5. Предъявленным требованиям по КУ отвечают только антенны «А-3» и «А-4» с раскрывами Ферми и Вивальди соответственно. Антенны «А-1», «А-2» и «А-5» имеют неравномерность коэффициента усиления в полосе частот более 1.5 дБ. Анализируя данные КСВН в полосе частот, видим, что антенны «А-3» и «А-5» имеют КСВН на участках исследуемой полосы частот больше 2. Остальные антенны хорошо согласуются. Из полученных результатов следует то, что только антенна «А-4» с раскрывом Вивальди удовлетворяет всем предъявленным требованиям и может быть использована в качестве элемента антенной решетки для сверхширокополосного автомобильного радиолокатора К-диапазона. Из результатов, приведенных в Таблице 1 можем сделать вывод, что антенна «А-4» имеет относительно узкую ДН в обеих плоскостях и низкий УБЛ, что хорошо отражается на помехозащищенности всей системы. Антенна «А-3», имея относительно широкую ДН и равномерный КУ может выступить в качестве антенны для компенсационного канала.

3. Заключение

Проведенное исследование показало, что возможно получение топологии печатной СШП антенны Вивальди на основе интегрированного в подложку волновода, имеющей относительно высокий и равномерный коэффициент усиления в полосе частот. Несмотря на то, что антенны Вивальди являются выступающими, в рассмотренном варианте решения это не является большим недостатком, так как

продольные размеры невелики (L=29 мм). Сама антенна может быть легко интегрирована с приемо-передатчиком без использования СВЧ-соединителя, а напрямую переходить к имеющим выход на основе интегрированного в подложку волновода многоканальным распределительным системам (например, линза Ротмана).

Список литературы

1. Борзов А. Б. Принципы построения сверхширокополосной антенны Вивальди для импульсных приемопередающих модулей систем ближней радиолокации и радиосвязи / А.Б. Борзов, [и др.]// Спецтехника и связь. — 2013. — №6. — С.54—57.
2. Djerafi, T. Substrate Integrated Waveguide Antennas / T. Djerafi, [at al.] // Handbook of Antenna Technologies. — 2015. — Springer, Singapore — P.1585—1655.
3. Yukhanov Y.V. Modelling of broadband 1-18 GHz antipodal dual-polarized Vivaldi radiators for antenna array / Y.V. Yukhanov [at al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2014 — 67. 012001. 10.1088/1757-899X/67/1/012001.
4. Ю.В. Юханов / Моделирование сверхширокополосного двухстороннего излучателя Вивальди с двумя ортогональными поляризациями/ Ю.В. Юханов, [и др.] // Сборник трудов «I Всероссийская Микроволновая конференция» — 2013 — С.185-189.
5. Lin S. Development of a novel UWB Vivaldi antenna array using SIW technology / S. Lin, [at al.] // Progress In Electromagnetics Research. — 2009 — P.369–384.
6. Fisher J. / Design and performance analysis of a 1 – 40 GHz ultra-wideband antipodal Vivaldi antenna / J. Fisher // German Radar Symposium «GRS 2000». — 2000.