

УДК 621.396.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ВИВАЛЬДИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ

К.И. КРЕМЕНЯ; канд. техн. наук, доц. В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

Демонстрируются результаты исследования зависимости параметров антенной решетки, собранной на основе излучателей – антенн Вивальди, от изменения расстояния между ними. Рассмотрен этап моделирования антиподальной антенны Вивальди в программе схемотехнического моделирования High Frequency Structure Simulator. Выявлены основные её характеристики. Показано моделирование антенной решетки из полученной антенны Вивальди. Проведён сравнительный анализ основных характеристик: коэффициента стоячей волны по напряжению, диаграммы направленности, входного сопротивления. Результаты анализа позволили выбрать оптимальное расстояние для расположения антенных излучателей.

Введение. Антенны и антенные решётки являются одним из важнейших функциональных блоков различных радиотехнических систем. Сегодня потребность в таких антеннах становится всё более очевидной (к примеру, в беспроводных информационных сетях, в радио- и видеолокации и т.д.). В связи с этим значительный интерес представляет конструирование антенн, небольших по размеру, легко маскируемых и недорогостоящих.

Современные антенные системы работают в различных стандартах передачи информации (WiMAX, EDGE, WCDMA, UMTS, LTE), для каждого из которых необходимо выделить определенные каналы связи. Современные системы передачи данных должны обеспечивать не только многоканальность, но и отвечать требуемым показателям быстродействия, надежности, стоимости [1].

Указанными свойствами обладают антенные решётки, состоящие из излучающих щелевых элементов типа антенн Вивальди. Данный тип антенн обладает требуемой шириной полосы пропускания и уровнем усиления сигнала. Изготовление излучателя Вивальди имеет высокие показатели технологичности, что положительным образом сказывается на стоимости антенной решетки.

Компьютерное моделирование антиподальной антенны Вивальди. В антенне Вивальди полоса частот ограничивается снизу размерами антенны и способом питания по верхней частоте. Именно поэтому правильная структура питания является важной для максимизации полосы частот. Большинство сверхвысокочастотных печатных плат реализуются на микрополосковой основе. Однако лучшим вариантом питания для антенны Вивальди является волоконно-щелевая линия. Для передачи микроволнового сигнала в антенну необходим переход, он должен быть компактным и иметь малые потери.

Кроме топологии антенны с использованием волоконно-щелевой линии, существует антиподальная топология, созданная для того, чтобы уменьшить потери при подключении антенны к симметричным линиям передачи. В данном случае переход от микрополоска к линии происходит через параллельную полосковую линию. Такая конструкция позволяет не делать согласовывающее отверстие, используемое в предыдущем случае. Экспериментально установлено, что длина перехода должна быть $3...5\lambda$, чтобы избежать резкой неоднородности между линией питания и антенной [2].

При компьютерном моделировании антиподальной антенны Вивальди для определения формы и размеров антенны учтены следующие факторы:

- направленность антенны зависит от её длины;
- ширина апертуры увеличивает направленность, однако значительно меньше, поэтому обычно её оставляют минимально необходимой;
- в широком диапазоне частот на ширину луча частота влияет незначительно;
- нижняя частота определяется размером антенны;
- нижняя частота сильно зависит от крутизны экспоненты: чем меньше этот показатель, тем ниже минимальная частота.

Для компьютерного моделирования антиподальной антенны Вивальди использована программа схемотехнического моделирования High Frequency Structure Simulator (HFSS).

Для моделирования использованы следующие параметры:

- диэлектрическая проницаемость подложки $\xi = 3$;
- размер диэлектрической подложки 52×57 мм;
- толщина подложки 1 мм.

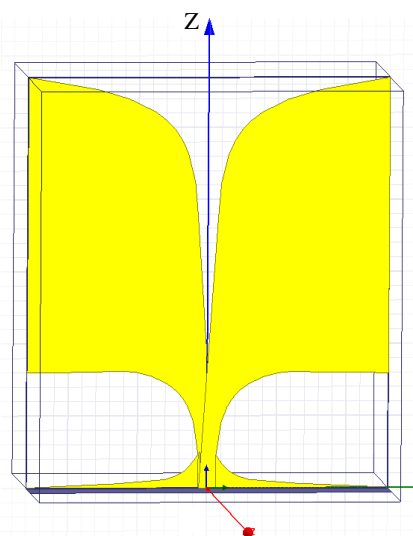


Рис. 1. Модель антиподальной антенны Вивальди, выполненной в программе HFSS

Модель антиподальной антенны Вивальди представлена на рисунке 1.

Основными характеристиками, полученными в результате моделирования, позволяющими определить работоспособность антенны, являются:

- коэффициент стоячей волны по напряжению;
- диаграмма направленности;
- входное сопротивление.

Коэффициент стоячей волны по напряжению антиподальной антенны Вивальди не превышает значения 2 на участке от 0,95 до 10 ГГц и является крайне нелинейным, имеются дифракционные максимумы и минимумы характеристики.

Усиление диаграммы направленности антиподальной антенны Вивальди на частоте 5 ГГц составляет 5,7 дБ в прямом направлении и 1,8 дБ – в обратном, имеет относительно небольшие задние лепестки. Диаграмма довольно широкая.

Входное сопротивление неравномерно, что говорит о частотной зависимости характеристик антенны.

Компьютерное моделирование антенной решетки, собранной на основе излучателей Вивальди. Используя полученный антенный излучатель Вивальди, спроектирована антенная решетка. Выбран вариант расположения одиночных излучателей: линейная расстановка элементов на металлическом экране.

В качестве материала подложки для антенных элементов выбран тефлон толщиной 1 мм. Подложка имеет металлизацию с двух сторон в виде половинок диполя.

Размеры металлического экрана: длина 600, ширина 100 мм; уголкового отражателя шириной 75 мм повернуты на 45° относительно основания экрана. Для исследования выбран частотный диапазон от 2,5 до 5 ГГц. Каждая отдельная антенна питается с помощью дискретного порта, дискретный порт нормирован на линию в 50 Ом.

Проведено исследование зависимости основных характеристик антенны (коэффициента стоячей волны по напряжению, диаграммы направленности, входного сопротивления) при смещении группы из 5-ти излучателей вдоль оси OY друг относительно друга на расстояние 0,5 мм, 50 и 70 мм.

Модель антенной решетки на основе излучателей Вивальди, выполненной в программе HFSS при смещении излучателей на расстояние 50 мм, приведена на рисунке 2.

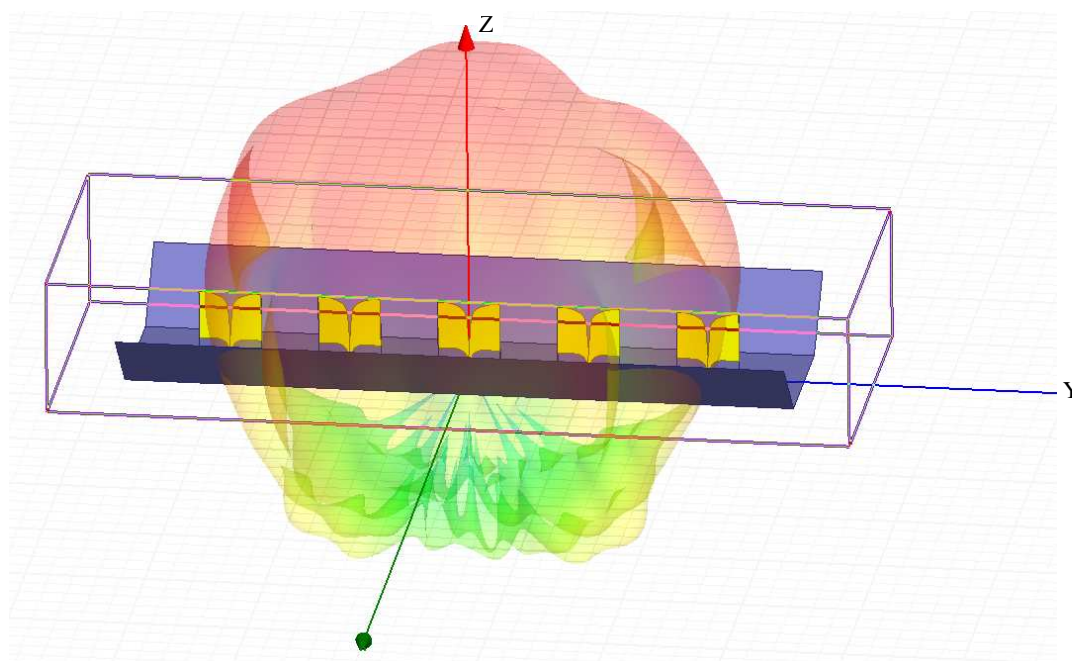


Рис. 2. Модель антенной решетки на основе антенн Вивальди, выполненной в программе HFSS

Анализ коэффициента стоячей волны по напряжению. Изменение графика коэффициента стоячей волны по напряжению при смещении излучателей Вивальди друг относительно друга представлено на рисунке 3.

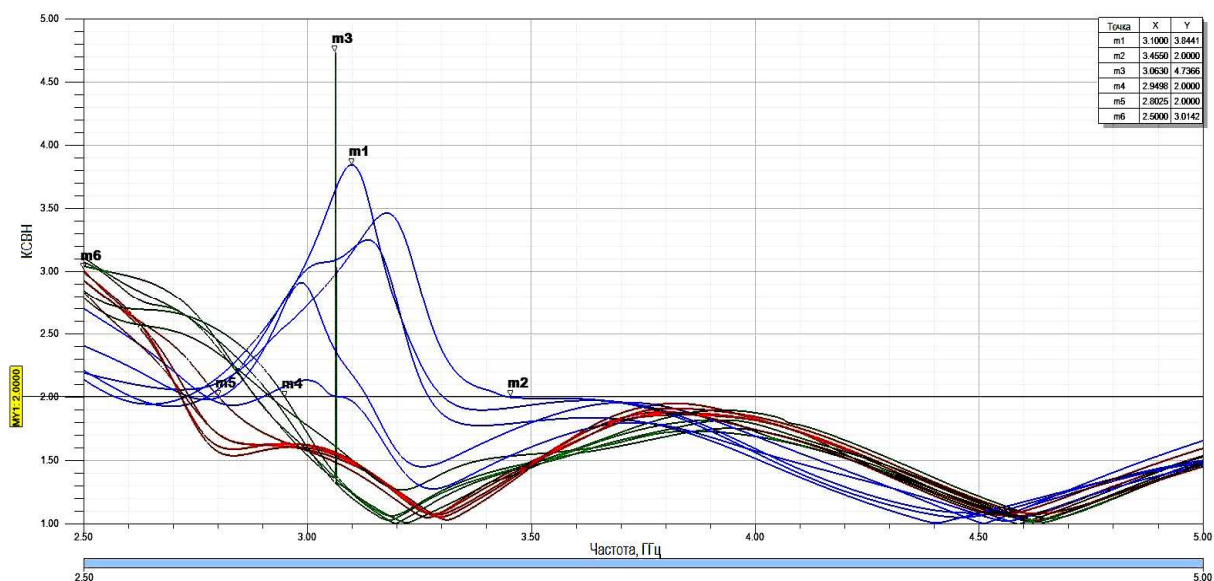


Рис. 3. Объединенные коэффициента стоячей волны по напряжению антенных решеток на основе антенн Вивальди при смещении излучателей друг относительно друга на расстояние: 1...0,5 мм (синий цвет линий); 2...50 мм (красный цвет линий); 3...70 мм (зелёный цвет линий)

Изменение расстояния между излучателями Вивальди в антенной решетке влияет на изменение коэффициента стоячей волны по напряжению:

- при расстоянии между излучателями 0,5 мм данный коэффициент не превышает значения 2 на частотах от 3,45 ГГц, это соответствует нижней рабочей частоте данной решетки. Максимальное значение коэффициента стоячей волны по напряжению составляет 3,84 на частоте 3,1 ГГц;

- при расстоянии между излучателями 50 мм на интервале частот от 2,8 до 5 ГГц значение коэффициента стоячей волны по напряжению также не превышает 2, что говорит о работоспособности решетки в данном диапазоне частот. Максимальное значение этого коэффициента равно 3 на частоте 2,5 ГГц;

- при расстоянии между излучателями 70 мм рабочий диапазон частот антенной решетки составляет от 2,94 до 5 ГГц. Максимальное значение коэффициента стоячей волны по напряжению равно 3 на частоте 2,5 ГГц. На частоте 3 ГГц наблюдается искажение, рассматриваемый коэффициент принимает самое высокое значение, равное 4,73.

Анализ диаграммы направленности. Изменение диаграммы направленности при смещении излучателей Вивальди друг относительно друга представлено на рисунке 4.

Изменение расстояния между излучателями Вивальди в антенной решетке влияет на изменение диаграммы направленности:

- при расстоянии между излучателями 0,5 мм коэффициент усиления равен 2,7 дБ, ширина переднего лепестка 123°, задний лепесток самый большой по сравнению с другими диаграммами на рисунке и его коэффициент усиления равен -7,84 дБ;

- при размещении элементов на расстоянии 50 мм друг от друга коэффициент усиления равен 5,93 дБ, ширина переднего лепестка 124°, задние лепестки небольшие и имеют коэффициент усиления, составляющий -12,28 дБ;

- при расстоянии между излучателями 70 мм коэффициент усиления равен 4,57 дБ, ширина переднего лепестка 137°, задние лепестки небольшие и имеют коэффициент усиления -14,39 дБ.

Анализ входных сопротивлений. Изменение входных сопротивлений при смещении излучателей Вивальди друг относительно друга отображено на рисунке 5.

Изменение расстояния между излучателями Вивальди в антенной решетке влияет на изменение входного сопротивления. При расстоянии 0,5 мм график более неравномерен и ярче выражена частотная зависимость решетки от входного сопротивления.

Величина нормированного входного сопротивления изменяется от 0,29 (14,7 Ом) при относительной длине, равной 0,54, до 1,9 (95 Ом) при относительной длине 0,31. При расстоянии между излучателями 50 мм входное сопротивление ближе к 1 (50 Ом).

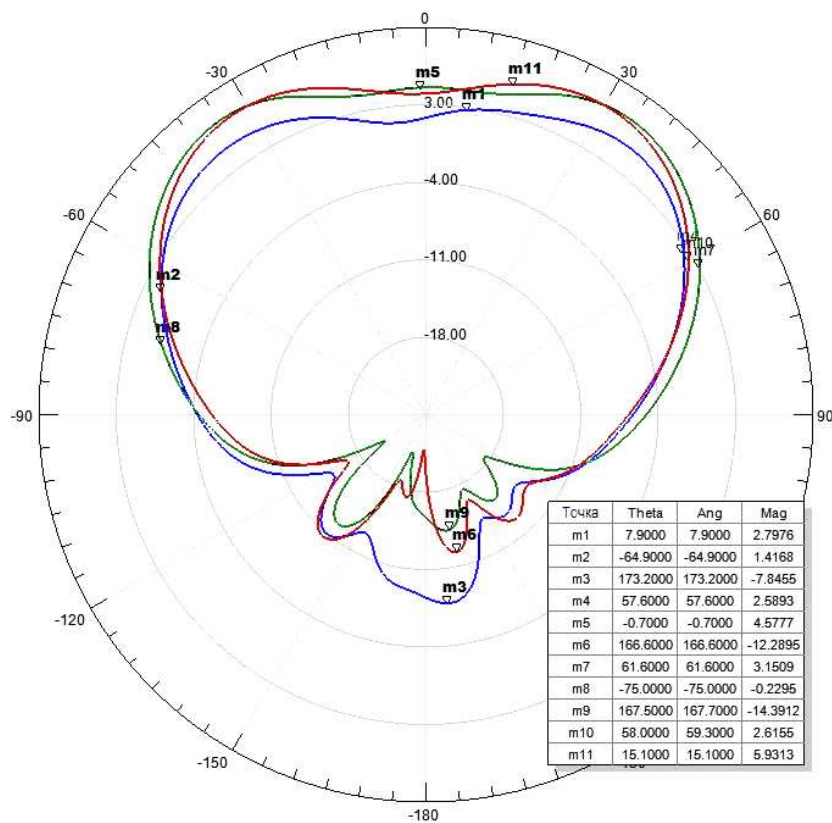


Рис. 4. Объединенные диаграммы направленности антенных решеток на основе антенн Вивальди при смещении излучателей друг относительно друга на расстояние: 1...0,5 мм (синий цвет линий); 2...50 мм (красный цвет линий); 3...70 мм (зелёный цвет линий)

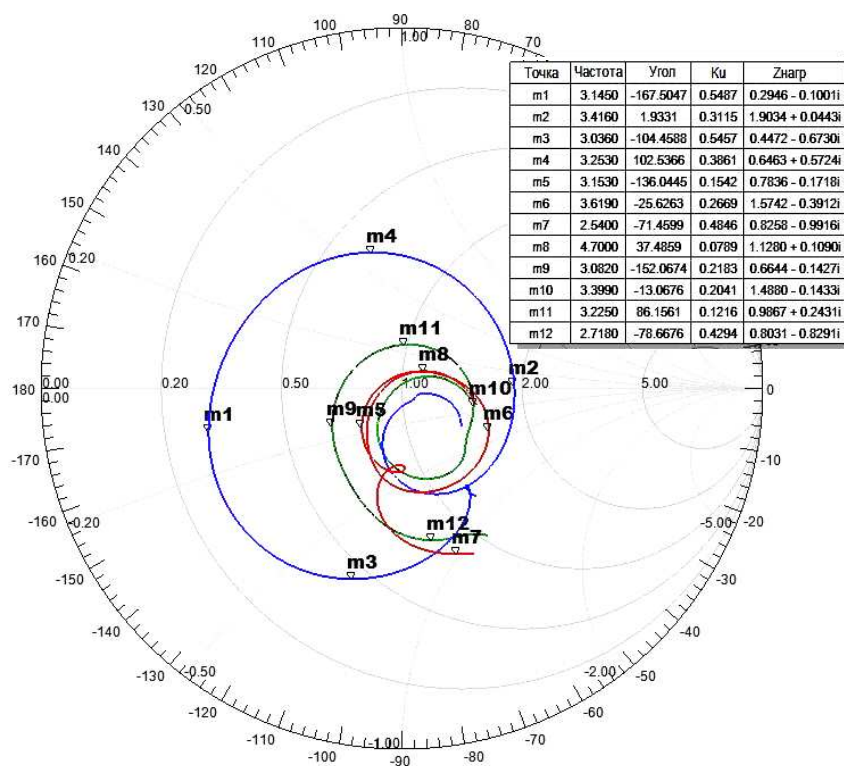


Рис. 5. Объединенные входные сопротивления антенных решеток на основе антенн Вивальди при смещении излучателей друг относительно друга на расстояние: 1...0,5 мм (синий цвет линий); 2...50 мм (красный цвет линий); 3...70 мм (зелёный цвет линий)

Величина нормированного входного сопротивления изменяется от 0,78 (39 Ом) при относительной длине 0,57 до 1,9 (78,5 Ом) при относительной длине 0,26. Неравномерность характеристики входного сопротивления образует петлю.

При расстоянии между излучателями 70 мм величина нормированного входного сопротивления изменяется от 0,66 (33 Ом) при относительной длине, равной 0,21, до 1,48 (74 Ом) при относительной длине, составляющей 0,2.

Заключение. Анализируя полученные характеристики, можно утверждать, что оптимальным расстоянием между излучателями Вивальди является расстояние, составляющее 50 мм. Коэффициент стоячей волны по напряжению в этом случае показывает наименьшее значение нижней частоты 2,8 ГГц, что делает полосу пропускания более широкой по сравнению с другими вариантами расположения излучателей. Дополнительно проведено исследование, свидетельствующее о том, что верхняя частота для данной антенной решетки составляет 10 ГГц. Сравнение диаграмм направленности показывает, что при расположении излучателей Вивальди на расстоянии 50 мм антенная решетка имеет самое большое усиление в прямом направлении, равное 5,93 дБ. Входное сопротивление при расположении излучателей на расстоянии 50 мм ближе к нормированному значению, составляющему 50 Ом.

Разработанная решетка может использоваться в системах радиолокации и радиосвязи (в том числе в биорадиолокации), работающих в различных частотных диапазонах в полосе частот 2,8...10 ГГц.

Одна из ключевых областей применения антенной решетки – компактные сверхширокополосные датчики, работающие на небольших дальностях 0...20 м с отсутствием мёртвых зон:

- охранные интеллектуальные датчики для обнаружения людей и различения их от помеховых сигналов (животные, деревья и т.п.);

- датчики для определения координат и позиционирования объектов;

- датчики для точного измерения расстояния, в том числе в оптически непрозрачных средах;

- датчики для дистанционного определения частоты дыхания и пульса человека;

- в других областях.

Следует отметить высокий уровень усиления сигнала на широкой полосе частот, что позволяет использовать данную антенную решетку в различных стандартах связи, сохраняя основные характеристики. Данный тип антенн рекомендован для использования в современных беспроводных системах связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Синтез антенной решетки с использованием излучателей Вивальди для систем беспроводного широкополосного доступа / И.Г. Рязанов [и др.] // Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – № 4(48). – С. 163–167.
2. Логопериодические антенны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://odtdocs.ru/fizika/10116/index.html>. – Дата доступа: 13.09.2014.
3. Перспективы антенн нового поколения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wifiantenna.org.ua/antennas/perspektivy-antenn-novogo-pokoleniya/>. – Дата доступа 15.09.2014.
4. Банков, С.Е. Проектирование СВЧ устройств и антенн с Ansoft HFSS / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – М., 2009.
5. Моделирование антенн и элементов тракта: учеб.-метод. пособие для выполнения курсовых и самостоятельных работ по учебным курсам «Устройства СВЧ и антенны» и «Антенно-фидерные устройства» / под ред. К.В. Шишакова. – Ижевск: ИжГТУ, 2009. – 127 с.

Поступила 14.10.2014

RESEARCH OF DEPENDENCE OF THE PARAMETERS OF VIVALDI ANTENNA ARRAY WHEN CHANGING DISTANCE BETWEEN RADIATORS

K. KREMENIA, V. YANUSHKEVICH

This article presents the results of research of dependence of parameters of the antenna array, collected from the Vivaldi antenna radiators, depending on the changing of distance between the radiators. Shows the stage of modeling the antipodal Vivaldi antenna in the circuit simulation program High Frequency Structure Simulator. Shows the main characteristics for that antenna. Shows a simulation of the antenna array, consisting of the resulting Vivaldi antenna. Shows the main characteristics for it: voltage standing wave ratio, radiation pattern, input impedance. Carried out the comparative analysis of the obtained characteristics, whereby selected the optimal distance for location of antenna radiators.