

Широкополосная восьмиэлементная антенная решетка диапазона 8-12 ГГц на основе антенны Вивальди

И.А. ФАЛЯЕВ¹, В.П. КУДИН²

В работе представлена антенная решетка на основе антенны Вивальди, которая оптимизирована для работы в X-диапазоне. Отличительной особенностью предложенной антенной решетки являются малые линейные размеры и отсутствие металлического экрана. Заднее излучение незначительно (ниже уровня минус 15 дБ), ширина луча в H-плоскости превосходит 110 градусов, в E-плоскости – 13 градусов.

Ключевые слова: антенна Вивальди, антенная решетка, X-диапазон, диаграмма направленности.

The paper presents the antenna array based on Vivaldi antenna that is optimized for working in the X-band. Distinctive features of the proposed antenna array are small linear dimensions and the absence of a metal screen. The beam width surpasses 110 degrees in H-plane and in E-plane is not more than 13 degrees, the back radiation level is below minus 15 dB.

Keywords: Vivaldi antenna, antenna array, X-band, radiation pattern.

Введение. Печатные монополярные антенны стали интенсивно исследоваться в последнее время, о чем свидетельствует большое количество публикаций [1]–[4]. Одной из причин внимания к ним является то, что интенсивно развивающиеся современные системы беспроводной связи нуждаются в низкопрофильных, с небольшой массой и высоким коэффициентом усиления простых антенных структурах. Микрополосковые антенны удовлетворяют данным требованиям и способны обеспечить высокую надежность и дешевизну с использованием преимуществ печатной технологии.

Немалый интерес вызывают компактные антенны и антенные решетки со сверхширокополосными характеристиками [5]–[8], что делает подобные структуры наиболее привлекательными для использования в мобильных и других современных радиоэлектронных устройствах. К такого рода антеннам можно отнести антенну Вивальди – сверхширокополосный щелевой излучатель бегущей волны на основе щели с плавно изменяющимся профилем. Сверхширокополосные свойства данной антенны обеспечиваются благодаря плавной трансформации характеристического сопротивления щелевой линии для обеспечения эффективной излучающей способности сегментов щели с размерами порядка половины длины волны. У подобного рода антенн излучение осуществляется вдоль печатной платы, что является в свою очередь определенным преимуществом перед другими антеннами. Направленность антенны позволяет получать более высокие значения коэффициентов усиления и коэффициентов направленного действия.

Основной целью в данной работе является разработка восьмиэлементной антенной решетки. Она должна иметь малые размеры, стабильные характеристики в X-диапазоне, незначительное излучение назад и приемлемый уровень согласования всех входов. Впоследствии, разработанная антенная решетка могла бы возбуждаться ранее предложенной диаграммообразующей схемой [9].

Антенна Вивальди. Антенна Вивальди выполнена в виде двух полосковых проводников, расположенных на противоположных сторонах печатной платы. Общий вид антенны длиной $L=25$ мм и шириной $W=15$ мм показан на рисунке 1. Питание осуществляется несимметричной полосковой линией передачи с входным сопротивлением 50 Ом. В качестве подложки использовался диэлектрик фирмы Rogers 4003 с диэлектрической проницаемостью 3,38 и тангенсом угла потерь 0,0027. Толщина диэлектрической подложки составляет 0,508 мм, а толщина медного слоя 35 мкм.

Представленная модель имеет множество размеров, при оптимизации которых можно сформировать требуемую диаграмму направленности (ДН), а также согласовать входы антенны.

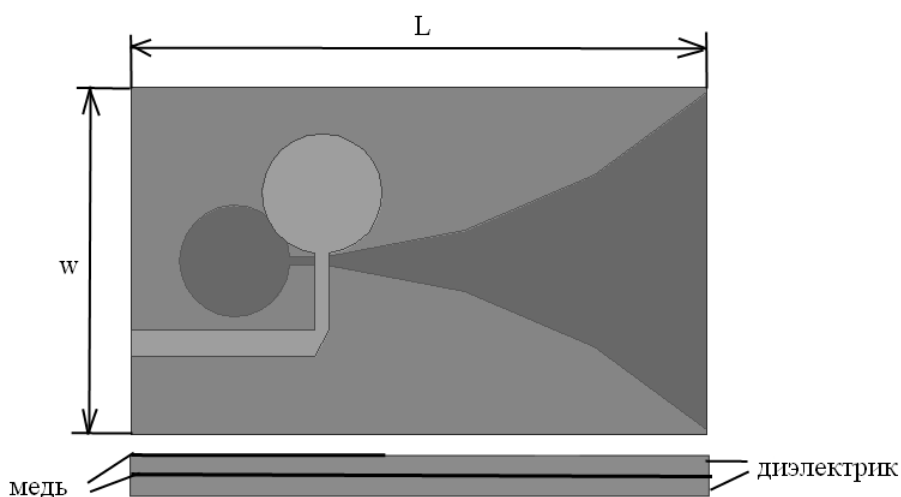


Рисунок 1 – Топология антенны Вивальди

Из множества параметров можно выделить определяющие, которые позволяют осуществить быструю оптимизацию антенны. При изменении длины антенны осуществляется контроль ДН и уровня боковых лепестков; ширина антенны предопределяет границу входных параметров со стороны низких частот, ширину главного лепестка и, самое важное, сектор сканирования. С помощью круглой закороченной линии передачи согласуется вход антенны. Отличительная особенность предложенной модели по сравнению со многими другими [5], [10] заключается в том, что длина антенны L имеет значение меньше длины волны $\lambda = 30$ мм в середине рабочих частот [10], а также в отсутствии металлического экрана [7].

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента усиления от угла поворота. Максимальное значение коэффициента усиления равно 4,5 дБ.

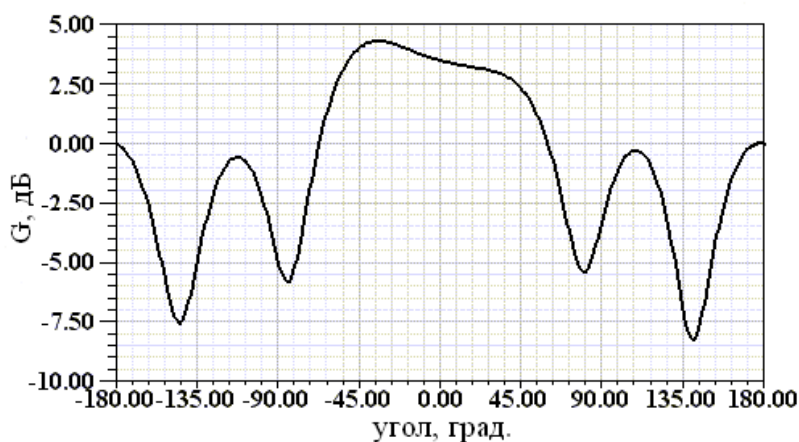


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента усиления от азимутального угла

Анализ характеристик представленной антенны Вивальди позволяет сделать вывод о том, что, несмотря на минимальные линейные размеры, антенна является работоспособной и имеет стабильные рабочие характеристики в исследуемом частотном диапазоне 8-12 ГГц. Излучение в противоположную сторону незначительное (ниже уровня минус 15 дБ), ширина в Н-плоскости превосходит 138 градусов, в Е-плоскости не более 110 градусов.

Антенная решетка. На основе представленной модели антенны Вивальди была построена восьмиэлементная линейная решетка. Компьютерная модель антенной решетки показана на рисунке 3. Расстояние между излучателями антенной решетки равно 15 мм. Для улучшения согласования крайних излучателей медный проводник на краях решетки продлевается на четверть средней длины волны (на рисунке 3 обозначен пунктиром). У подобного рода антенн взаимная связь достаточно сильная и в некоторых случаях позволяет улучшать характеристики излучения в целом.

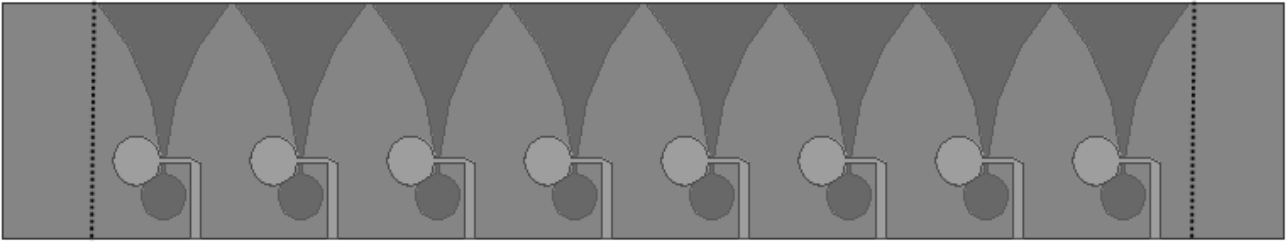


Рисунок 3 – Предложенная антенная решетка

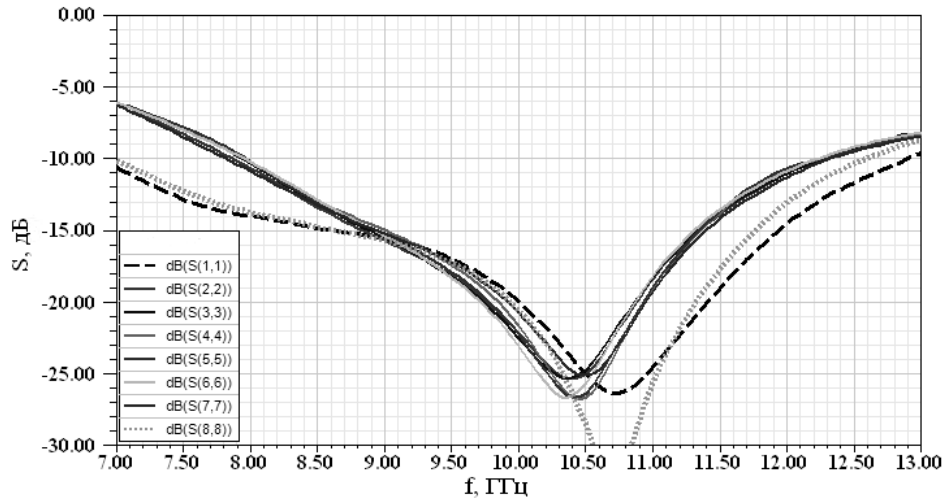
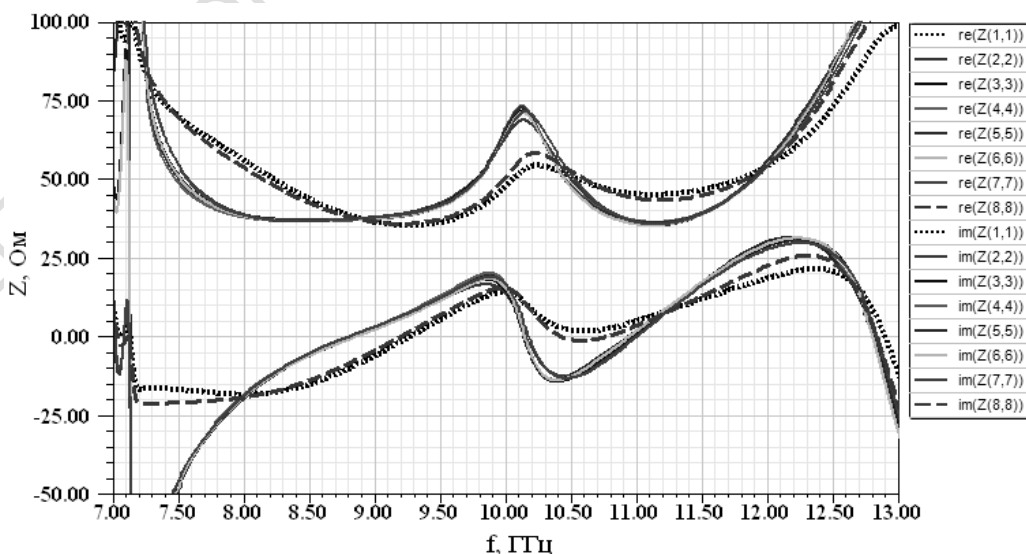


Рисунок 4 – Частотная зависимость коэффициентов отражения на входах решетки

На рисунке 4 представлены частотные зависимости S -параметров на всех входах, а на рисунке 5 частотные зависимости действительной и мнимой частей входных сопротивлений входов антенной решетки. Из рисунков видно, что рабочий диапазон антенной решетки на основе антенны Вивальди лежит в пределах от 8 ГГц до 12 ГГц. Коэффициенты отражения достигают значений минус 27 дБ на частоте 10,4 ГГц. Из-за продления медного проводника, а также благодаря взаимной связи между элементами на крайних антеннах коэффициенты отражения (на 1 и 8 входах) получились немного лучше, чем остальные.

Как видно из рисунка 5, мнимые части входных сопротивлений в среднем лежат около значения ноль, а действительные части в среднем около 50 Ом во всем X-диапазоне.

Рисунок 5 – Частотная зависимость Z -параметров на входах антенной решетки

С помощью компьютерного моделирования было реализовано качание луча. На рисунке 6 представлены ДН в E -плоскости при различном сдвиге фаз $\Delta\psi$ между соседними

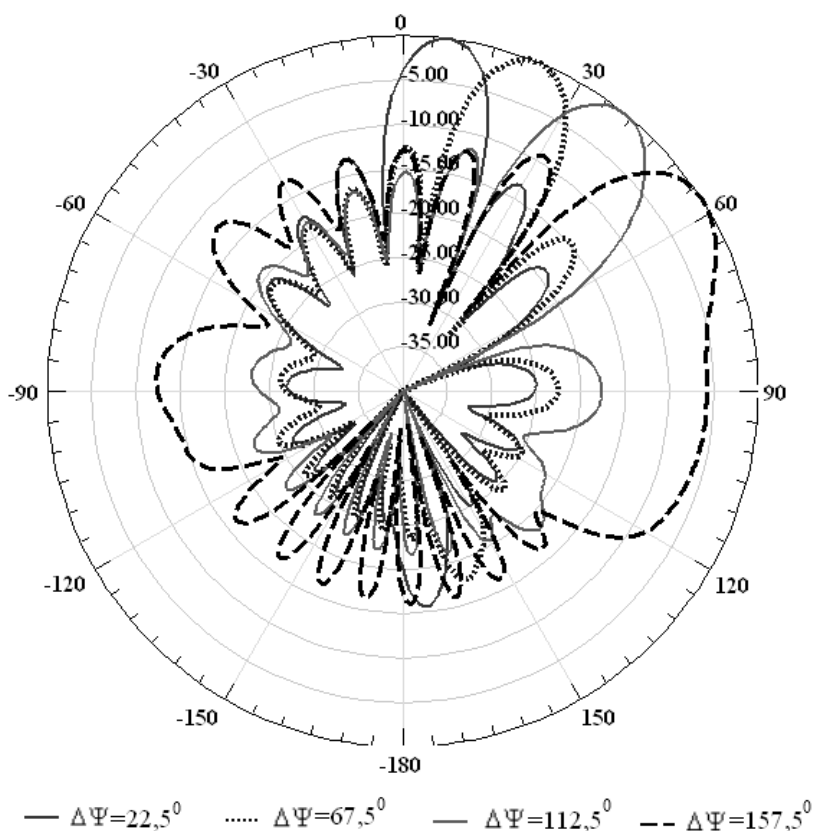


Рисунок 6 – Диаграммы направленности при различном сдвиге фаз между входами

входами. Представленная антенная решетка позволяет достигать отклонения главного лепестка до 50 градусов от основного положения, при этом уровень боковых лепестков лежит ниже минус 10 дБ.

На рисунке 7 показаны три ДН в Е-плоскости на различных частотах. Ширина главного лепестка в Е-плоскости по уровню минус 3 дБ на частоте 8 ГГц составляет 10,5 градуса, уровень боковых лепестков не превышает минус 13,3 дБ. Излучение назад практически отсутствует, значения лежат ниже уровня минус 22 дБ. На центральной частоте 9,75 ГГц ширина луча составляет 13 градусов, уровень боковых лепестков – минус 13 дБ, излучение назад составляет минус 15,7 дБ. На частоте 12 ГГц ширина луча составляет 15,3 градуса, уровень боковых лепестков – минус 13,7 дБ, излучение назад составляет минус 18 дБ.

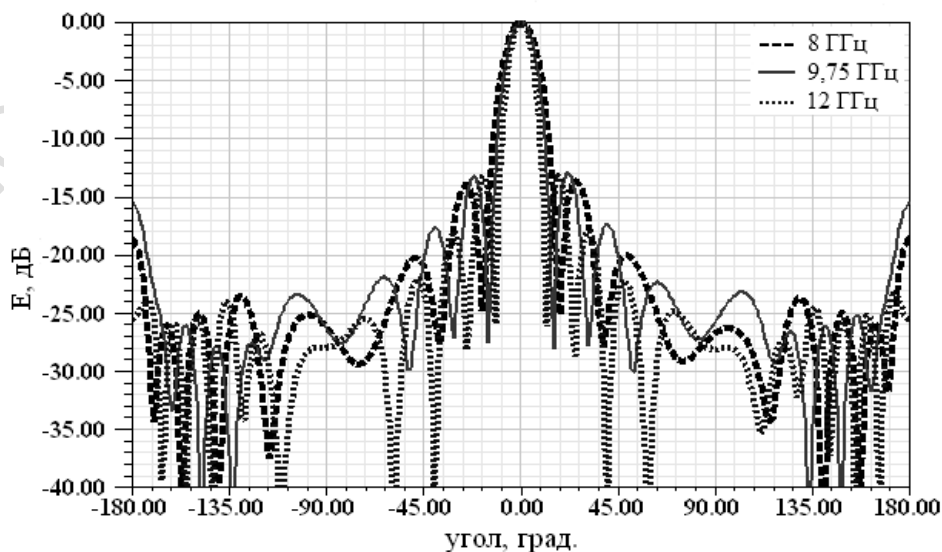


Рисунок 7 – Диаграммы направленности предложенной антенной решетки на частотах 8, 9.75 и 12 ГГц

Заключение. Представленная в работе антенна Вивальди оптимизирована для работы в X-диапазоне. Она имеет минимальные линейные размеры, не используется экран для минимизации излучения назад. Это позволило построить на её основе восьмиэлементную линейную антенную решетку, которая обеспечивает широкополосное согласование входов в диапазоне от 8 ГГц до 12 ГГц; отклонение луча в азимутальной плоскости до 50 градусов; частотной стабильности ДН: ширина луча в H-плоскости превосходит 110 градусов, в E-плоскости не более 13 градусов. Излучение в противоположную сторону незначительное – ниже уровня минус 15 дБ.

Предложенная антенная решетка вместе с разработанной ранее диаграммобразующей схемой может служить основой для создания в дальнейшем антенного модуля X-диапазона.

Литература

1. Aggarwal, K. A S-shaped patch antenna for X-band wireless/microwave applications / K. Aggarwal, A. Garg // *International Journal of Computing and Corporate Research*. – 2012. – Vol. 2. – P. 1–14.
2. Уваров, А.В. Сверхширокополосная ненаправленная печатная монополярная антенна диапазона 2,5–25 ГГц / А.В. Уваров, А.В. Уваров, А.С. Дмитриев // *Сверхширокополосные сигналы в радиолокации, связи и акустике: материалы III Всероссийской науч. конф., Муром, 28 мая – 1 июня 2010 г. / Муромский ин-т. Владимирского гос. ун-та ; редкол.: В.В. Булкин (отв. ред.) [и др.]. – Муром: МИ ВлГУ, 2010. – С. 95–99.*
3. Design and performance analysis of microstrip array antennas with optimum parameters for X-band applications / Tanvir Ishtaique-ul Huque [et al.] // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2011. – Vol. 2, № 4. – P. 1–7.
4. Multilayer Microstrip antenna on flat base in the X-band (8.5GHz-12GHz) / M. Wnuk [et al.] // *PEIR Online*. – 2007. – Vol. 7, № 3. – P. 216–220.
5. Yang, Y. Design of compact Vivaldi antenna arrays for UWB see through wall applications / Y. Yang, Y. Wang, A.E. Fathy // *PIER*. – 2008. – Vol. 82. – P. 401–418.
6. Design and optimization of compact balanced antipodal Vivaldi antenna / F. Jolani // *PIER*. – 2009. – Vol. 9. – P. 183–92.
7. Расширение полосы рабочих частот многофункциональных фазированных антенных решёток / А.Ю. Гринев [и др.] // *Радиолокация и радиосвязь: материалы IV Всероссийской конф., ИРЭ РАН, Москва, 29 ноября – 3 декабря 2010 г. / – М. : ИРЭ РАН, 2010. – С. 631–635.*
8. Разработка и исследование модифицированной антенны Вивальди в составе плоской широкополосной антенной решётки X-диапазона / С.Л. Чернышев [и др.] // *Наука и Образование*. – 2011. – № 1. – С. 1–8.
9. Фаняев, И.А. Матричная диаграммобразующая схема на восемь каналов // *Антенны*. – 2013. – № 3. – С. 58–62.
10. Куприц, В.Ю. Оптимизация расположения антенных элементов Вивальди в широкополосных антенных решетках / В.Ю. Куприц, А.А. Мещеряков // *Доклады ТУСУРа*. – 2010. – № 1(21). – С. 45–49.

¹ Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины

² Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Луч»