

УДК 621.396.6

ТОПОЛОГИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕННОГО МОДУЛЯ X-ДИАПАЗОНА

И.А. ФАЛЯЕВ, В.П. КУДИН

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины
Советская, 104, Гомель, 246019, Беларусь

Поступила в редакцию 14 ноября 2013

Приведены результаты разработки топологии и исследования антенного модуля X-диапазона, имеющего простую конструкторскую реализацию в виде трехслойной печатной платы 140×120×1,12 мм.

Ключевые слова: многолучевая антенная решетка, диаграммообразующая схема, «магический» Т-мост, антенна Вивальди, антенная решетка, X-диапазон.

Введение

Одной из важных и актуальных проблем современной антенной техники является построение многофункциональных пассивных и активных антенных систем, обеспечивающих высокоэффективную работу различных радиотехнических комплексов. Одним из вариантов решения этой задачи могут быть многолучевые антенные решетки на основе матричных диаграммообразующих схем (ДОС), самой распространенной из которых является матрица Батлера [1–3].

Значительная часть распределительных антенных систем, антенн [4–7] изготавливается с использованием печатной технологии. Они обладают хорошими массогабаритными характеристиками и низкой стоимостью изготовления. Однако при увеличении числа каналов схемная и конструкторско-технологическая сложность ДОС стремительно растет. Этот недостаток особенно проявляется с увеличением числа лучей многолучевой антенной решеткой. В данной работе исследуется антенный модуль на основе антенны Вивальди с восьмиканальной параллельной диаграммообразующей схемой [8] новой топологии, позволяющей существенно упростить ее конструкторскую реализацию.

Топология матричной диаграммообразующей схемы

При построении топологии матричной ДОС определяющими факторами являются выбор элементной базы, их компактное размещение на плате, а также реализация схемы без пересечений линий передачи.

В качестве элементной базы рассматривались такие устройства, как шлейфный мост, щелевой переход, направленный ответвитель со щелевой связью, «магический» Т-мост, кроссовер и другие. Кроссоверы позволяют избавиться от пересечений линий передачи, однако имеют большие габариты. К примеру, для построения топологии в предложенной ДОС [8] понадобится 14 кроссоверов, что значительно увеличит размер платы. Реализация схемы без пересечений линий передачи возможна в многослойной плате, однако это не всегда целесообразно. Использование шлейфных мостов является неэффективным из-за малого рабочего диапазона частот данных элементов. Самым компактным базовым элементом оказывается «магический» Т-мост. На его основе можно построить ДОС на трехслойной печатной плате.

За основу был взят «магический» Т-мост, приведенный в [9]. Скорректировав его топологию, а именно, отказавшись от использования емкостного выреза между выходами 3 и 4, выполнив резонансную щель без радиальной заглушки, согласовав вход 2 с помощью обычного трансформатора на конце, вместо радиальной заглушки, получим улучшенный базовый элемент. Его топология и частотные зависимости S-параметров после оптимизации линейных размеров приведены на рис. 1.

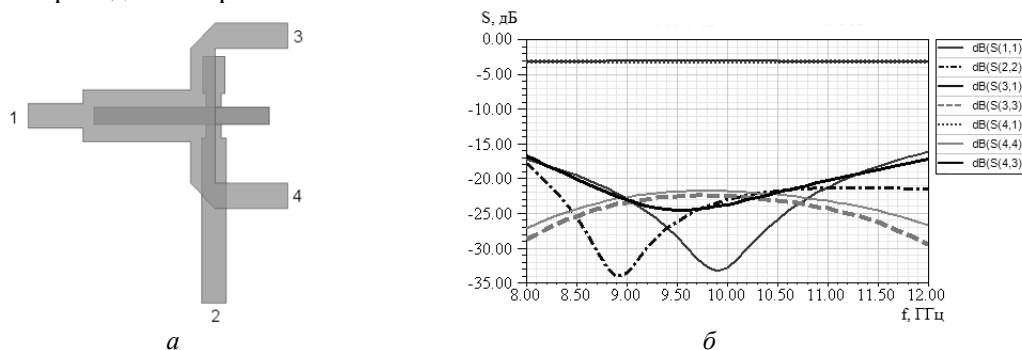


Рис. 1. Топология (а) и частотные зависимости S-параметров (б) «магического» Т-моста

«Магический» Т-мост имеет коэффициент передачи $-3,7 \pm 0,5$ дБ и фазовый разбаланс $\pm 0,8$ градуса в рабочем диапазоне частот 8,5–11,1 ГГц. Значения коэффициента связи между входами 1 и 2 находятся ниже -40 дБ.

Компактная топология матричной ДОС была предложена на основе Т-мостов, а также щелевых переходов [10]. В качестве фазосдвигателей использовались отрезки линии передачи требуемой длины. На рис. 2 приведена послойная топология схемы, а также вид платы сбоку. Цифрами указана нумерация входов. Первый слой представляет собой дорожки медного проводника. Второй слой – сплошной медный проводник с вырезанными щелями (щели выделены черным цветом). Третий слой аналогичен первому. Минимальное расстояние между соседними проводниками составляет три ширины полоски.

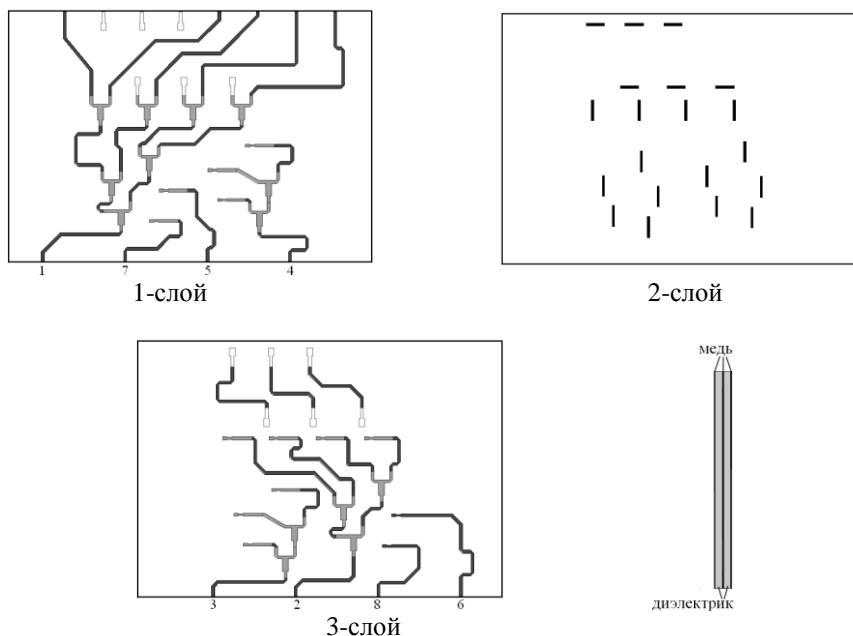


Рис. 2. Компактная топология ДОС 8×8 выходов

Длина полученной платы составляет 140 мм, а ширина – 97 мм. Питание осуществляется несимметричной полосковой линией передачи с входным сопротивлением 50 Ом. В качестве подложки использовался диэлектрик фирмы Rogers 4003 С с диэлектрической проницаемостью 3,38 и тангенсом угла потерь 0,0027. Толщина диэлектрической подложки составляет 0,508 мм, а толщина медного слоя 35 мкм. Расстояние между соседними входами равно 16 мм, что вполне достаточно для крепления коаксиальных

разъемов. Все приведенные в статье модели были реализованы в программе, которая осуществляет трехмерный электродинамический расчет полей, используя метод конечных элементов.

На рис. 3 представлены рассчитанные по компьютерной модели частотные зависимости коэффициентов отражения на всех входах ДОС. Практически во всем X-диапазоне значения коэффициентов отражения лежат ниже уровня -15 дБ.

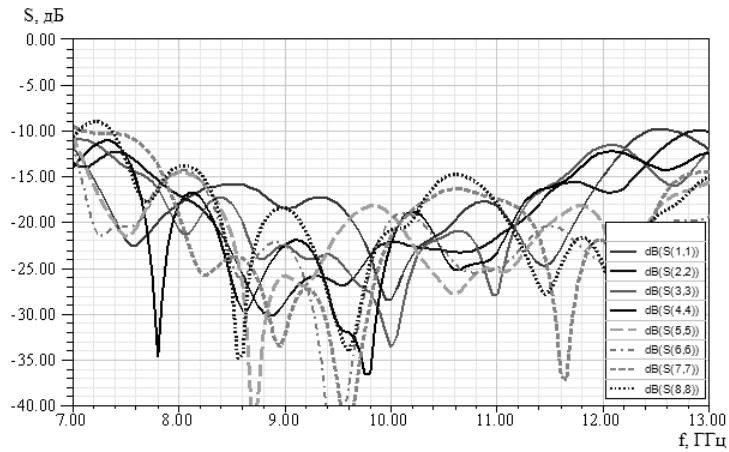


Рис. 3. Частотные зависимости коэффициентов отражения на всех входах

Ниже, на рис. 4, приведены частотные зависимости коэффициентов передачи ДОС со входов 1 и 2. Во всем частотном диапазоне 8–12 ГГц кривые без резких пиков, имеют плавный характер, их значения лежат в пределах от -11 до -17 дБ.

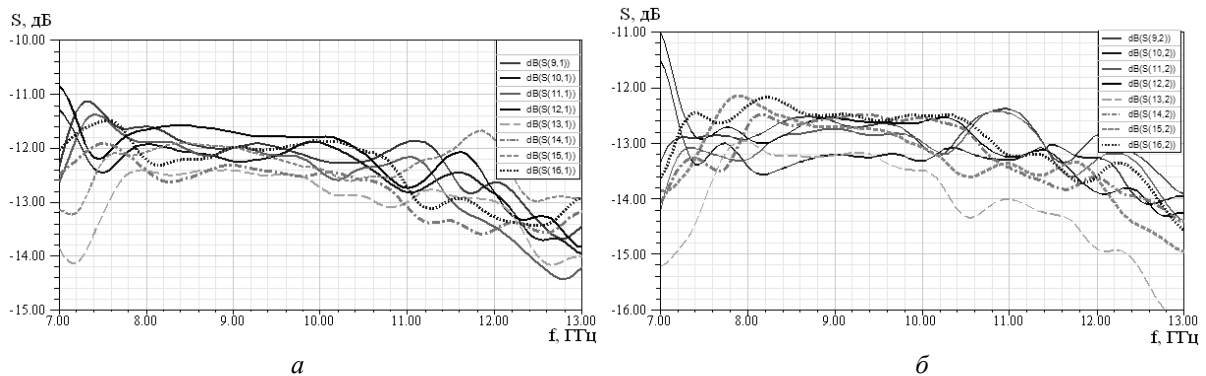


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициентов передачи на выходах схемы при подаче сигнала на 1 (а) и 2 (б) входы ДОС

Если обобщить полученные результаты разработанной топологии матричной ДОС, то получаем следующее: разработанная ДОС 8×8 входов имеет частотный диапазон 8,6–10,8 ГГц; амплитуда на выходах составляет -14 ± 3 дБ; разбаланс фаз ± 17 градусов; развязка всех входов -20 дБ в диапазоне частот 8–12 ГГц, а с 9 до 10 ГГц развязка составляет -25 дБ.

Антенная решетка

В качестве элемента линейной антенной решетки применим антенну Вивальди – сверхширокополосный щелевой излучатель бегущей волны на основе щели с плавно изменяющимся профилем [5]. 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 определенным преимуществом перед другими антеннами. Топология антенной решетки показана на рис. 5. 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 рис. 5 обозначен пунктиром).

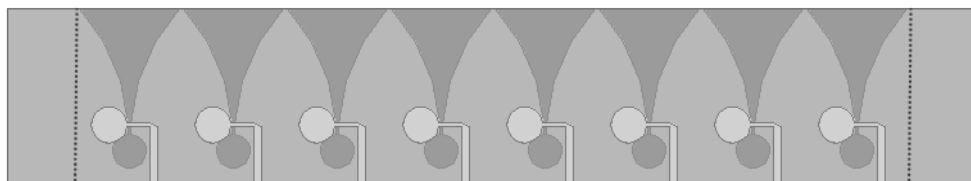


Рис. 5. Предложенная антенная решетка

Расчеты показывают, что восьмиэлементная антенная решетка на основе антенн Вивальди обеспечивает согласование входов в диапазоне от 8 ГГц до 12 ГГц при отклонении луча в азимутальной плоскости до 50 градусов. Ширина луча в Н-плоскости превосходит 110 градусов, в Е-плоскости не более 13 градусов. Излучение в противоположную сторону незначительное – ниже уровня –15 дБ.

Антенный модуль

Если объединить предложенную ДОС и антенную решетку в единую конструкцию, получаем антенный модуль на 8 каналов, который формирует веер из 8 лучей в секторе углов 115 градусов. На рис. 6 представлена компьютерная модель антенного модуля. Цифрами указаны номера входов. Размеры модуля составляют 140×120 мм.

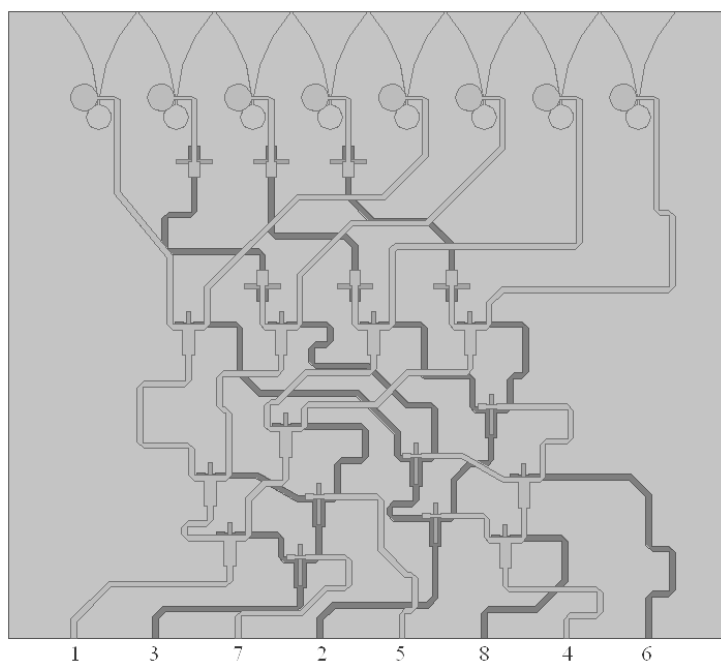


Рис. 6. Предложенный антенный модуль на 8 входов

Компьютерное моделирование антенного модуля проводилось как единой конструкции. На рис. 7 представлены графики зависимостей коэффициентов отражения от частоты на всех входах модуля. Результаты показывают, что только входы 1 и 8, а также частично вход 7 согласованы хуже, чем остальные. Также прослеживается взаимная связь входов 1 и 8. Это хорошо видно из рис. 8, а (частотные зависимости коэффициентов связи). Такое поведение может быть вызвано значительным отражением подаваемой энергии от щелевых переходов. У других входов такой сильной связи не наблюдается. К примеру, на рис. 8, б представлены частотные зависимости коэффициентов связи между входами при возбуждении входа 3. Хорошо видно, что во всем X-диапазоне значения коэффициентов связи лежат ниже –15 дБ, а с 9,8 до 11,6 ГГц – ниже –20 дБ.

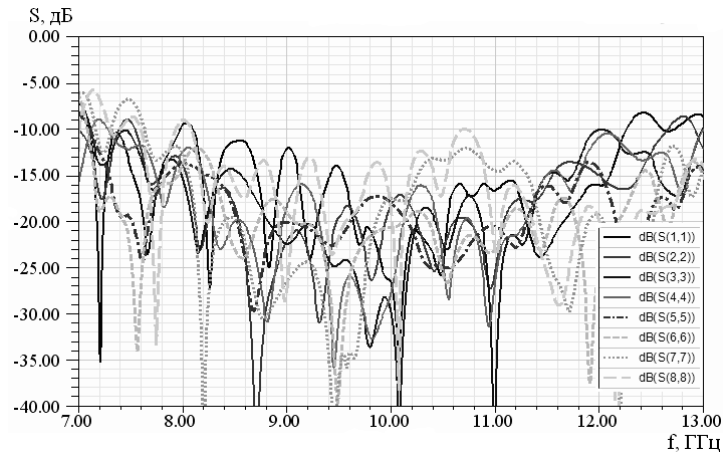


Рис. 7. Частотные зависимости коэффициентов отражения на всех входах антенного модуля

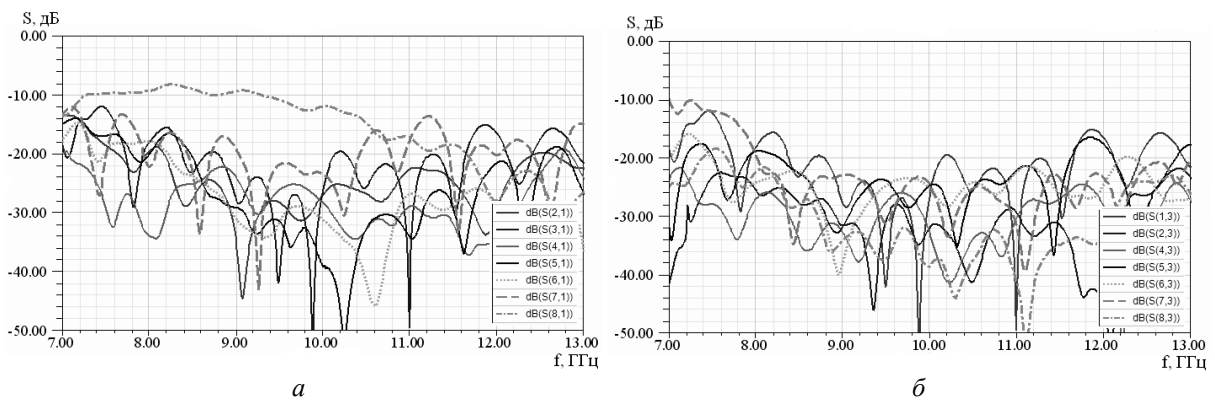


Рис. 8. Частотные зависимости коэффициентов связи при подаче сигнала на входы 1 (а) и 3 (б) антенного модуля

При подаче сигнала на один из 8-ми входов апертура антенного модуля формирует луч под определенным углом со своей диаграммой направленности. На рис. 9 для примера приведены соответствующие диаграммы направленности на частоте 9,75 ГГц.

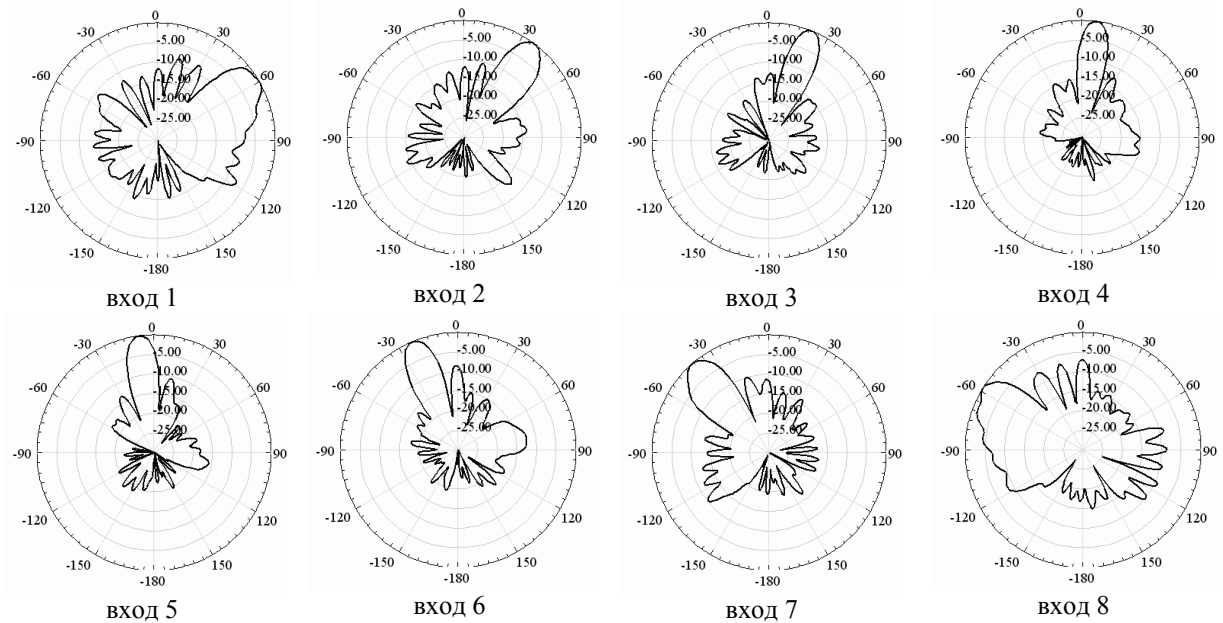


Рис. 9. Диаграммы направленности антенного модуля при подаче сигнала на отдельный вход

Заключение

В данной работе построен и численно исследован антенный модуль X-диапазона, состоящий из восьмиэлементной линейной антенной решетки на основе излучателей Вивальди и матричной ДОС новой топологии, формирующей многолучевую режим работы. ДОС состоит из широкополосных модифицированных «магических» Т-мостов и щелевых переходов и конструктивно реализуется на трехслойной печатной плате с размерами 140×120 мм совместно с антенной решеткой.

Установлено, что оптимизированный по геометрии антенный модуль в диапазоне частот 8,7–10,7 ГГц имеет следующие характеристики: коэффициент отражения по всем входам не выше –13 дБ, ширина главных лепестков лежит в пределах от 13 до 20 градусов, уровень боковых лепестков у каждого луча не выше –10 дБ.

TOPOLOGY AND CHARACTERISTICS OF THE ANTENNA MODULE X-BAND

I.A. FANYAEV, V.P. KUDZIN

Abstract

The results of the development and research of topology antenna module X-band having a simple implementation of the design in the form of a three-layer printed circuit board 140×120×1,12 mm.

Список литературы

1. *Neron J.-S., Gilles-Y. Delisle* // ETRI Journal. 2005. Vol. 27, № 6. P. 788–797.
2. *He J., Wang B.Z., He Q.Q. et al* // PIER. 2007. Vol. 74. P. 131–140.
3. *Chia-Chan Chang, Ruey-Hsuan Lee, Ting-Yen Slih* // Trans. on Antennas and Propagation. 2010. Vol. 58, № 2. P. 367–374.
4. *Yang Y., Wang Y., Fathy A.E.* // PIER. 2008. Vol. 82. P. 401–418.
5. *Jolani F., Dadashzadeh G., Naser-Moghadasi M. et. al.* // PIER. 2009. Vol. 9. P. 183–192.
6. *Гринев А.Ю., Багно Д.В., Синани А.И. и др.* // Матер. IV Всероссийской конф., ИРЭ РАН, Москва, 29 ноября – 3 декабря 2010. С. 631–635.
7. *Чернышев С.Л., Виленский А.Р., Сю С. и др.* // Наука и образование. 2011. № 11. С. 1–8.
8. *Фаняев И.А.* // Антенны. 2013. № 3. С. 58–62.
9. *Ma T.-G., Wu C.-J., Chou C.-F.* // PIER. 2008. Vol. 86. P. 1–18.
10. *Нечаев Ю.Б., Макаров Е.С., Щетинин Н.Н.* // Вест. Воронеж. инст. МВД России. 2010. № 4. С. 44–52.