

Низкопрофильный двухполяризационный металлический дипольный элемент антенной решетки

А.В. Геворкян

Южный федеральный университет

Аннотация: в работе приведена конструкция и характеристики излучения низкопрофильного двухполяризационного дипольного элемента антенной решетки. Его поперечные размеры равны 30 мм × 30 мм, а высота – 11 мм. Диполи выполнены из металла. Рассмотрено два варианта конструкции: без перемычек между плечами диполей и отражателем и с ними. Добавление перемычек смещает рабочую полосу частот в сторону их увеличения и уменьшает коэффициент передачи между входами элемента антенной решетки более чем на 17 дБ. Рабочая полоса частот по уровню КСВН ≤ 3 находится в диапазоне частот от 2,18 ГГц до 5,46 ГГц (коэффициент перекрытия равен 2,5:1). Электрическая высота на максимальной рабочей частоте равна примерно $0,2 \lambda$.

Ключевые слова: дипольная антенна, линейная поляризация, низкопрофильная антенна, сверхширокая полоса

1. Введение

В последние годы планарные дипольные антенны находят широкое применение при разработке сверхширокополосных антенных решеток [1 – 5]. Их основное преимущество по сравнению с антенной Вивальди [6 – 8] – это низкопрофильность. Высота антенны Вивальди, в основном, равна минимальной рабочей длине волны или более, а высота планарных дипольных антенн, в основном, не превышает половины длины волны. Однако, конструкции планарных дипольных антенн, как правило, состоят из двух и более слоёв диэлектрических подложек и поэтому для их изготовления требуется использование технологии многослойных печатных плат. Использование такой технологии повышает стоимость антенной решетки. Поэтому было необходимо исследовать возможность создания таких антенн с простой конструкцией и приемлемыми характеристиками излучения при сохранении низкопрофильности без использования диэлектрических подложек.

2. Конструкция элемента антенной решетки и его характеристики излучения

Конструкция разработанного элемента антенной решетки (ячейка в составе бесконечной антенной решетки) приведена на рисунке 1. Его поперечные размеры равны 30 мм × 30 мм, а высота – 11 мм. Он имеет два входа (на две ортогональные линейные поляризации) и питается с помощью 50-омных коаксиальных кабелей. Плечи диполей выполнены из металла (при моделировании потери в металле не учитывались). Особенность конструкции – это отсутствие диэлектрических подложек. Пространство между отражателем и диполем может быть заполнено пенопластом.

На рисунке 2 приведены частотные характеристики КСВН, реализованного коэффициента усиления, коэффициента передачи между входами и КПД.

Из рисунков 2а-г видно, что на частоте 4,35 ГГц характеристики имеют резонанс. Несмотря на это, элемент антенной решетки является сверхширокополосным (отношение максимальной рабочей частоты к минимальной (коэффициент перекрытия) больше 2:1). Его рабочая полоса частот по уровню КСВН ≤ 3 находится в

диапазоне частот от 1,69 до 4,31 ГГц (коэффициент перекрытия равен 2,55:1). Электрические поперечные размеры на максимальной рабочей частоте равны примерно $0,435 \lambda \times 0,435 \lambda$. Из-за этого, значения реализованного коэффициента усиления (см. рис. 2б) не превышают 2,57 дБ. Существенное уменьшение его значений на частотах от 4,1 до 4,7 ГГц связано с увеличением значений КСВН (см. рис. 2а) и коэффициента передачи между входами (см. рис. 2в), которые приводят к уменьшению КПД (см. рис. 2г).

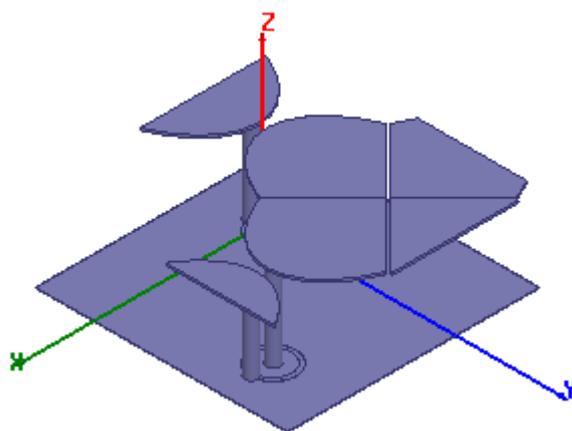


Рисунок 1. Конструкция элемента антенной решетки.

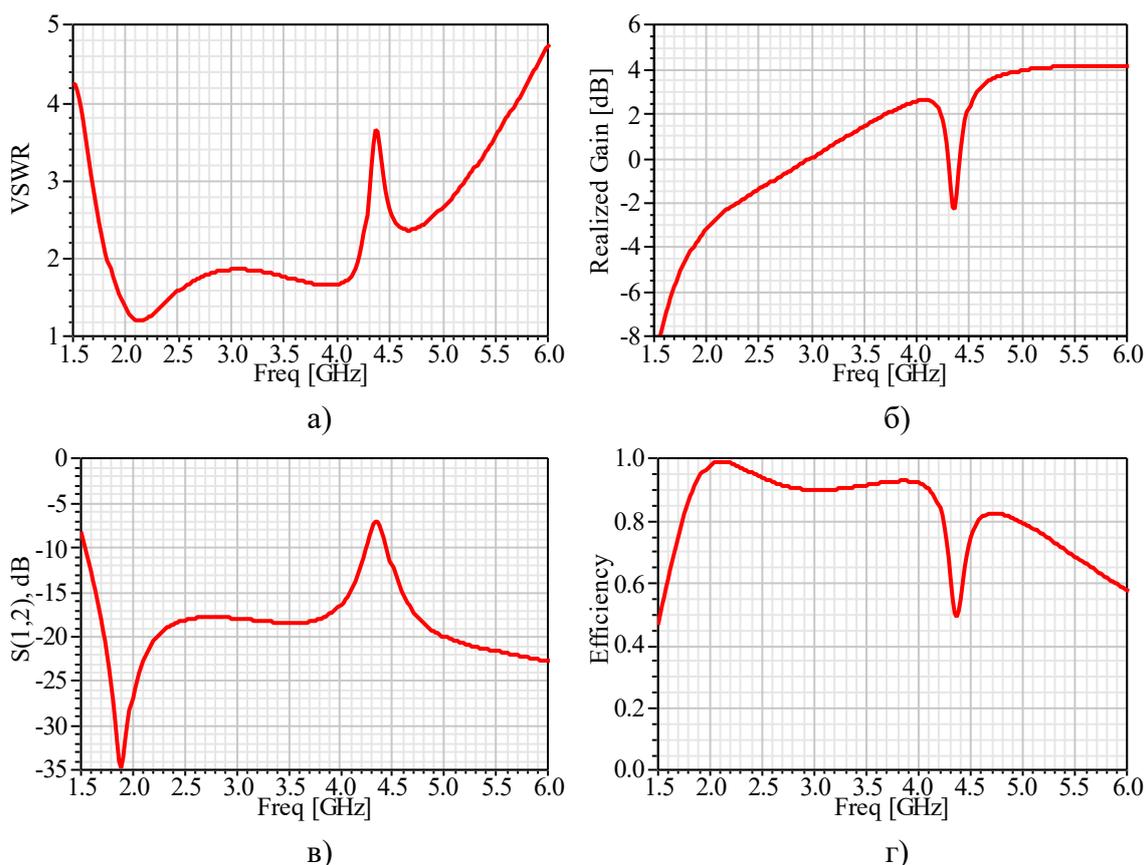


Рисунок 2. Частотные характеристики: а) КСВН, б) реализованный коэффициент усиления, в) коэффициент передачи между входами, г) КПД.

Так как конструкция должна быть простотой, то для того, чтобы убрать резонанс, можно добавить перемычки между плечами диполя и отражателем [9]. Конструкция этого элемента антенной решетки приведена на рисунке 3. Его частотные

характеристики приведены на рисунке 4.

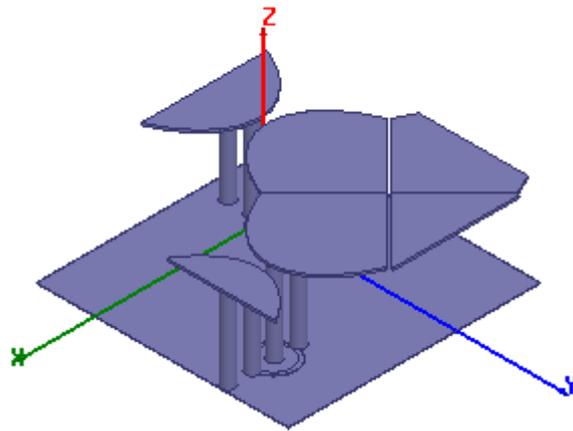


Рисунок 3. Конструкция элемента антенной решетки с перемычками.

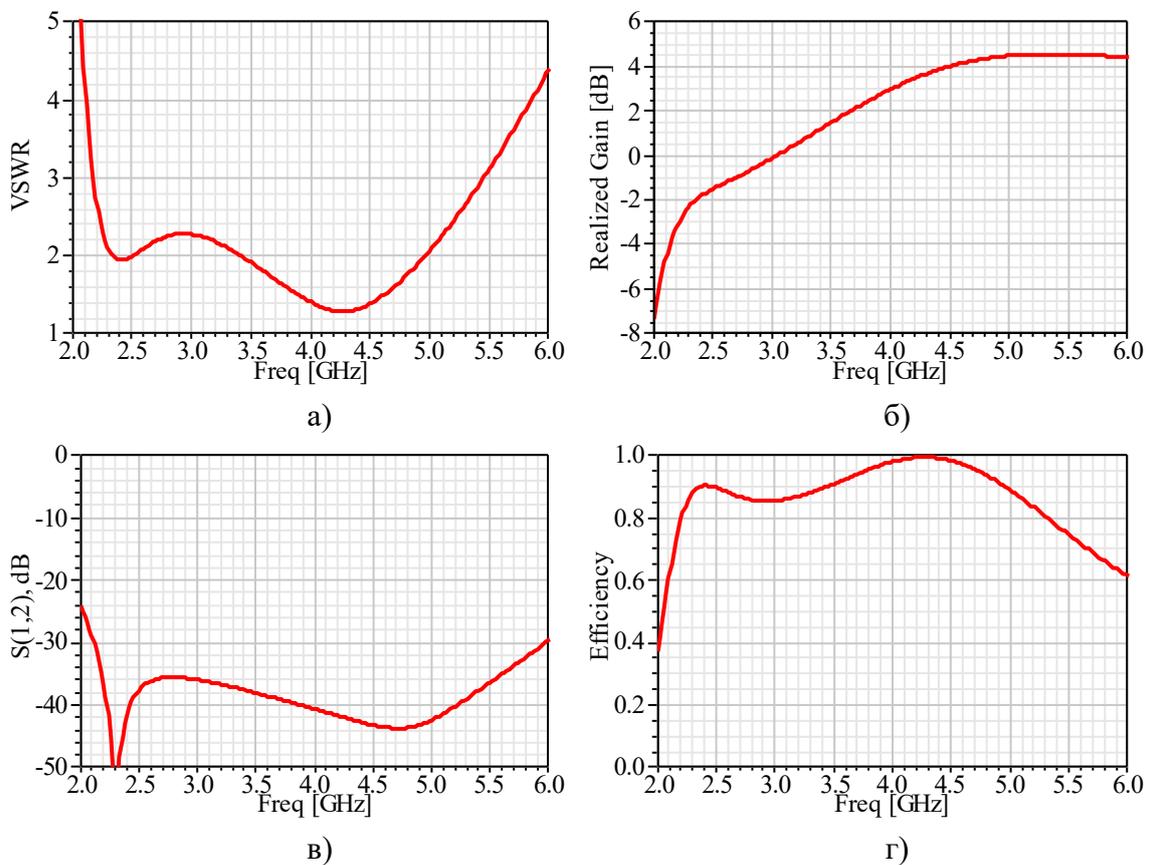


Рисунок 4. Частотные характеристики: а) КСВН, б) реализованный коэффициент усиления, в) коэффициент передачи между входами, г) КПД.

Сравнение рисунков 2 и 4 показывает, что добавление перемычек убрало резонанс из рабочей полосы частот. Из рисунка 4а видно, что нижняя и верхняя рабочие частоты увеличилась, и рабочая полоса частот теперь находится в диапазоне от 2,18 ГГц до 5,46 ГГц. Т.е., коэффициент перекрытия равен 2,50:1. Это немного меньше, чем при отсутствии перемычек. Однако, благодаря им, электрические поперечные размеры элемента антенной решетки на максимальной рабочей частоте увеличились и равны примерно $0,546 \lambda \times 0,546 \lambda$. Это привело к увеличению значений реализованного коэффициента усиления (см. рис. 4б), который находится в диапазоне от -3,46 до 4,49 дБ. Наиболее существенным улучшением от использования перемычек

является уменьшение коэффициента передачи между входами (см. рис. 4в) более чем на 17 дБ, который теперь не превышает уровень, равный -34,6 дБ. Так как, значения КСВН в основном не превышают уровень 2,3, то КПД (см. рис. 4г) в основном превышает 85%.

Дополнительно необходимо отметить, что электрическая высота элемента антенной решетки на максимальной рабочей частоте равна примерно $0,2 \lambda$, т.е. он является низкопрофильным.

3. Заключение

Разработанный элемент антенной решетки не имеет диэлектрических подложек, является сверхширокополосным и низкопрофильным. Малая высота позволяет рассматривать возможность размещения импедансных структур в его раскрыве для дальнейшего улучшения частотных характеристик с сохранением его низкопрофильности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00537 (<https://rscf.ru/project/22-19-00537/>) в Южном федеральном университете.

Список литературы

1. Zhou W.-L., Qu S.-W., Yang S. Novel ultra-wideband wide-angle scanning phased array // 2019 IEEE MTT-S International wireless symposium (IWS). Сборник трудов конференции. – 2019. – С. 1-2. – DOI: 10.1109/IEEE-IWS.2019.8804081.
2. Logan J.T., Kindt R.W., Lee M.Y., Vouvakis M.N. A new class of planar ultrawideband modular antenna arrays with improved bandwidth // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 2018. – Т. 66. – № 2. – С. 692-701. – DOI: 10.1109/TAP.2017.2780878.
3. Holland S.S., Schaubert D.H., Vouvakis M.N. A 7–21 GHz dual-polarized planar ultrawideband modular antenna (PUMA) array // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 2012. – Т. 60. – № 10. – С. 4589-4600. – DOI: 10.1109/TAP.2012.2207321.
4. Zhu L., Wang M., Xu J.-Y., Wu W. Experimental research on planar ultra-wideband modular antenna array // 2021 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (APS/URSI). Сборник трудов конференции. – 2021. – С. 535-536. – DOI: 10.1109/APS/URSI47566.2021.9703697.
5. Duan S., Zhang C., Shen J., Shao N., Zhang X. A dual-polarized planar ultra-wideband modular antenna (PUMA) array with 9:1 bandwidth // 2020 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology (ICMMT). Сборник трудов конференции. – 2020. – С. 1-3 – DOI: 10.1109/ICMMT49418.2020.9387035.
6. Yan J., Gogineni S., Camps-Raga B., Brozena J. A dual-polarized 2–18-GHz vivaldi array for airborne radar measurements of snow // IEEE Transactions on antennas and propagation. – 2016. – Т. 64. – № 2. – С. 781-785. – DOI: 10.1109/TAP.2015.2506734.
7. Shuangshuang Zhu, Haiwen Liu, Pin Wen. A New Method for Achieving Miniaturization and Gain Enhancement of Vivaldi Antenna Array Based on Anisotropic Metasurface // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2019. – Т. 67. – № 3. – С. 1952-1956. – DOI: 10.1109/TAP.2019.2891220.
8. Jiawen Sun, Liuge Du, Wanshun Jiang. Design of ultra-wideband antipodal Vivaldi antenna for target RCS imaging // 2015 IEEE International Wireless Symposium. Сборник трудов конференции. – 2015. – С. 1-3. – DOI: 10.1109/IEEE-IWS.2015.7164568.
9. Holland S.S., Vouvakis M.N. The Planar Ultrawideband Modular Antenna (PUMA) Array // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 2012. – Т. 60. – № 1. – С. 130-140. – DOI: 10.1109/TAP.2011.2167916.