

Сверхширокополосная ненаправленная печатная монополярная антенна диапазона 2,5 – 25 ГГц

Антон В. Уваров^{1,2}, Андрей В. Уваров^{1,2}, А. С. Дмитриев¹

¹Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, Москва, Россия, ivarov8@gmail.com

²Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия

Разработана сверхширокополосная ненаправленная печатная антенна диапазона 2,5-25 ГГц. Проведен численный анализ и экспериментальная проверка полученных результатов. Описаны основные характеристики и свойства антенны, предложено обоснование принципа работы, методика достижения сверхширокой полосы рабочих частот.

A compact printed omni-directional ultra-wideband antenna is proposed for 2.5-25GHz frequency band. Numerical analysis and experimental verification of antenna characteristics are fulfilled. Basic antenna characteristics and behavior were described. Operation principle and ultra wideband achieving technique are proposed.

Введение

Печатные монополярные антенны стали сильно популярны в последнее время, о чем свидетельствует большое количество публикаций как в отечественной, так и зарубежной литературе. Интерес в основном связан со сверхширокополосным диапазоном частот и компактностью структуры, что делает антенны наиболее привлекательными для использования в мобильных и других современных радиоэлектронных устройствах. Основной областью применения сверхширокополосных сигналов (СШП) сигналов являются беспроводные персональные локальные сети (wireless personal area networks – WPAN), которые благодаря низкой стоимости аппаратуры и малому энергопотреблению являются перспективной технологией [1].

Предмет и метод исследования

Типичная конфигурация печатной дисковой монополярной антенны представленная на рис. 1а состоит из прямоугольного экрана длиной l , шириной w и диска диаметром d расположенным на одной подложке с экраном (возможно в разных слоях) на расстоянии Δ от экрана. Возбуждение структуры происходит в самом узком месте между экраном и площадкой. Широко распространены так же антенны с площадками других геометрических форм, как простых, например, треугольной, четырехугольной или шестиугольной, так и более сложных таких, как эллипс, серп, месяц [2-6]. Антенна может возбуждаться как микрополосковой, так и копланарной волноведущими линиями. В свою очередь сигнал на волноведущую линию подается или через коаксиальный разъём, или напрямую от приёмо-передатчика, в случае его интегрального расположения на одной подложке с антенной.

Для проведения электромагнитного моделирования характеристик были использованы коммерческие САПР Ansoft HFSS [7] и CST Microwave Studio [8] которые показали приемлемое совпадение результатов.

Анализ и оптимизация печатная монополярная антенна диапазона 2,5–25 ГГц

В результате численной оптимизации было достигнуто требуемое согласование по входу ($K_{СВН} < 2$) во всем частотном диапазоне без использования дополнительных настроечных элементов. Параметры оптимальной конфигурации антенны представлены

в таблице 1. Изображение изготовленной печатной монополюсной антенны приведено на рис. 1б. Измерение КСВН по входу производились на векторном анализаторе цепей Agilent 8720D. Для измерения были использованы разъёмы SouthWest Microwave SMA End Launch Connector [9], обеспечивающие согласование по входу лучше КСВН $<1,5$ на частотах вплоть до 27 ГГц.

Экспериментально измеренные характеристики антенн (см. рис. 2) подтвердили корректность проведенного электромагнитного расчета и метода применяемого при их оптимизации. Как видно из графиков профиль измеренной амплитудно-частотной характеристики повторяет форму модельных. Однако, существует отличие в уровне отраженного сигнала и некоторый сдвиг по частоте, которые могут быть объяснены, как погрешностями численных методов, так и не полнотой модели, поскольку в модели не рассматривался переход с коаксиального кабеля на микрополосковую линию. Рассчитанная диаграмма направленности разработанной антенны приведена на рис. 3 для трех характерных частот.

Для выделения мод возбуждаемых в антенной структуре мы использовали подход заключающийся в детальном изучении распределения токов на каждой из резонансных частот и изменении топологии антенны с целью увеличения добротности предполагаемой моды, при этом наблюдая значительное увеличение амплитуды резонанса на АЧХ на выделенной частоте. Подобный подход позволяет выделить серии резонансов возбуждаемых в сложной многомодовой структуре, за счет независимого изменения добротности структуры соответствующей различным сериям.

Исследование зависимости входного импеданса антенны от частоты показало, что в области низких частот положение резонансов хорошо описывается моделью несимметричного диполя (см. рис. 4а,б). Для анализа была проведена серия численных экспериментов, в которых ширина и экрана и самого монополя постепенно уменьшались, как пропорционально так и не зависимо друг от друга, вплоть до предельного случая – проволочного несимметричного диполя. Как видно из рис. 4а, 4б положение первых двух резонансных пиков для обеих топологий (несимметричного диполя и печатного монополя) антенн совпадает, что позволяет вывод об определяющем влиянии дипольной моды на низкочастотные свойства антенны. Обоснование высокочастотных свойств монополюсной дисковой печатной антенны может быть найдено при рассмотрении токовых мод возбуждаемых в зазоре между экраном и диском. Фактически такая конфигурация представляет собой две включенных в параллель и направленных в противоположные стороны антенны Вивальди (щелевой антенны переменной ширины). При этом один из берегов щелевой антенны имеет плоский профиль, а второй представляет собой дугу окружности. Наиболее ярко выраженные в такой конфигурации резонансы объясняются стоячими волнами, возникающими в щели при отражении от резких углов экрана, что подтверждается значительным уменьшением резонансных особенностей на АЧХ при скруглении углов экрана. Положение резонансов на частотной зависимости импеданса для итоговой гибридной топологии приведенной на рис. 4г совпадает с положением резонансов печатного монополя, что позволяет сделать вывод о корректности модели.

Заключение

В результате численной оптимизации достигнута рабочая полоса с отношением крайних частот более 10:1 при согласовании по входу лучшим КСВН <2 без использования дополнительных настроечных цепей. Модельные характеристики с хорошей точностью подтверждены экспериментальными измерениями. Проведенный анализ оптимальной конфигурации антенны продемонстрировал определяющее

влияние дипольных мод на свойства антенны в области низких частот и характеристики аналогичные антенне Вивальди в области высоких частот.

Список литературы:

- [1]. А. С. Дмитриев, А.В. Клецов, А.М. Лактюшкин, А.И. Панас, В. Ю Синякин, Сверхширокополосная СВЧ приемопередающая платформа на основе хаотических сигналов // Радиотехника, 2007, №1.
- [2]. Ding Yi, Guang-Ming Wang, Zhong-Wu Yu, «Compact UWB Printed Monopole Antenna» // International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies For Wireless Communications, pp. 612-614, IEEE, 2007
- [3]. K. P. Ray, «Design Aspects of Printed Monopole Antennas for Ultra-Wide Band Applications» // International Journal of Antennas and Propagation, Volume 2008, Article ID 713858, 8 pages
- [4]. Huey-Ru Chuang, Chi-Chang Lin, Yao-Chiang Kan, « A Printed UWB Triangular Monopole Antenna» // Microwave Journal®, January 2006
- [5]. J. Liang, C.C.Chiau, X. Chen, C.G.Parini, «CPW-fed circular ring monopole antenna» // Antennas and Propagation Society International Symposium, 2005 IEEE
- [6]. Ntsanderh C. Azenui, H. Y. D. Yang, «A Printed Crescent Patch Antenna for Ultrawideband Applications» // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol.6, 2007
- [7]. Ansoft HFSS, <http://www.ansoft.com/products/hf/hfss/>
- [8]. CST Microwave Studio, <http://www.cst.com/>
- [9]. Southwest Microwave, Inc., <http://mpd.southwestmicrowave.com/>

Таблица 1. Таблица параметров антенны

| | |
|-----------------------------|--|
| Диапазон рабочих частот | 2,5 – 25 ГГц |
| КСВН | <2, при 2,5 ГГц < f < 25 ГГц |
| Направленность антенны | Ненаправленная (КНД < 5dBi) |
| Поляризация | линейная |
| Габаритные размеры подложки | Не более 50 мм ? 40 мм |
| Габаритные размеры антенны | $w = 40$ мм, $l = 27$ мм, $\Delta = 0,25$ мм, $d = 22$ мм |
| Возбуждение | Микрополосковой линией (или копланарной линией), $Z = 50$ Ом |
| Подложка | Rogers Ro 4003C ($\epsilon=3,55$), с толщиной 305 мкм |

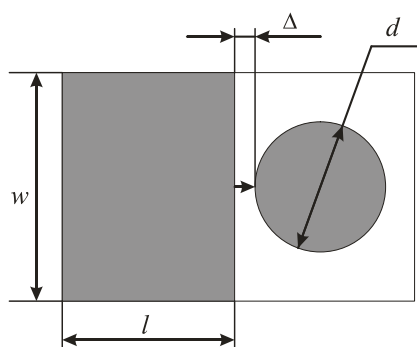


Рис. 1а. Типичная конфигурация печатной монополярной антенны.

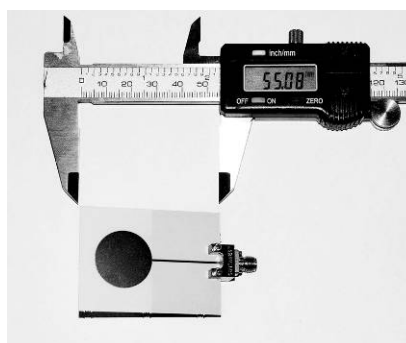


Рис. 1б. Фотография экспериментального образца с разъемом

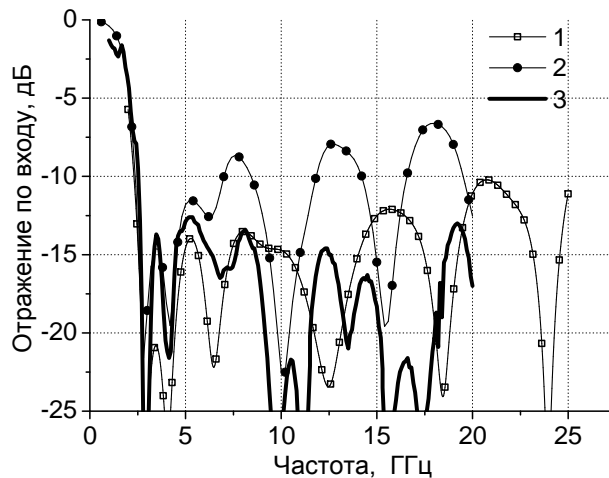


Рис. 2. Сравнение экспериментально измеренного согласования по входу с расчетным для печатной монополярной антенны диапазона 2,5-25 ГГц. Антенна выполнена на подложке Rogers Ro 4003C толщиной 305 мкм. Характерные размеры антенны представлены в таблице 1. Кривая 1 соответствует характеристике полученной в результате электромагнитного моделирования в пакете САПР CST Microwave Studio, кривая 2 – в Ansoft HFSS, кривая 3 – экспериментально измеренная.

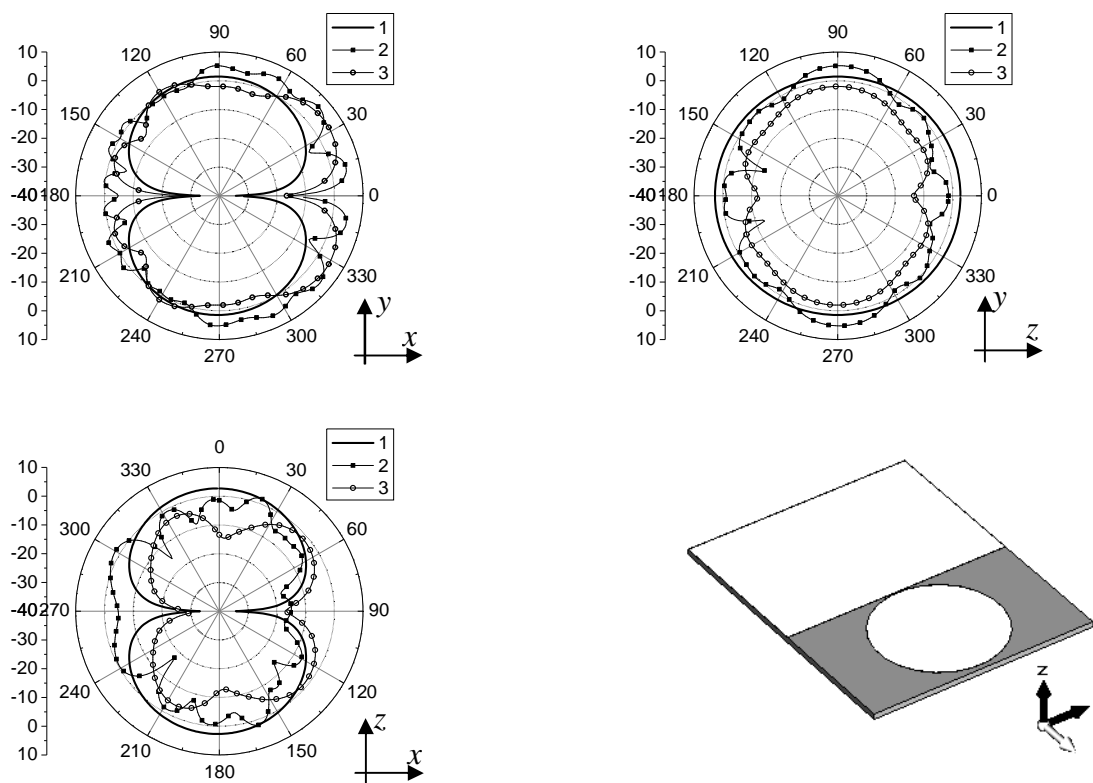


Рис. 3. Диаграмма направленности печатной монополярной антенны в трех взаимноперпендикулярных плоскостях на частотах: 2,5 ГГц (кривая 1), 25 ГГц (кривая 2) и 10 ГГц (кривая 3).

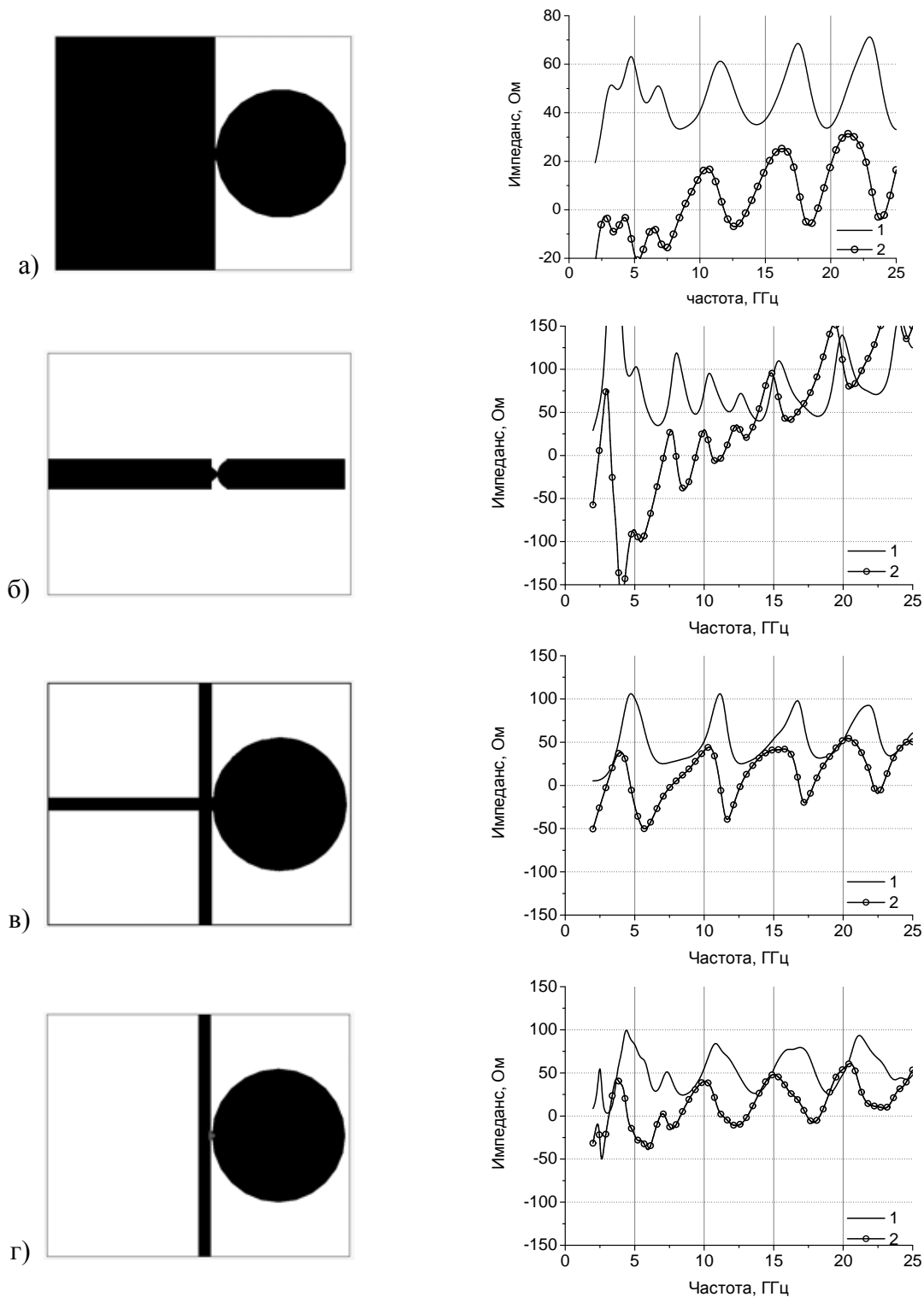


Рис. 4. Сравнение зависимости входного импеданса антенны от частоты для различных топологий: а) – печатная монополярная антенна диапазона 2,5-25 ГГц, б) – модель антенны (несимметричный диполь) с выделенными дипольными модами, в) – модель антенны, представляющая собой антенну Вивальди и с подавленными дипольными модами, г) – гибридная топология, в которой способны возбуждаться как распределения токов соответствующие дипольным модам, так и щелевым. Сплошная линия соответствует действительной части импеданса, сплошная линия с маркерами в виде окружности – мнимой.