

Моделирование микрополоскового вибраторного излучателя

Е.В. Овчинникова, Нгуен Динь То, С.Г. Кондратьева, П.А. Шмачилин, Э.В. Гаджиев, А.И. Гиголо

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993 г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4,
E-mail: oea8888@gmail.com*

В докладе приводится конструкция широкополосного микрополоскового вибраторного излучателя для наземной системы связи. Рассматриваемая антенна представляет собой модифицированный вибраторный излучатель с реактивными нагрузками. Представлены результаты численного электродинамического моделирования. Определены параметры и основные характеристики антенны.

The report presents the design of a broadband microstrip vibrator emitter for a terrestrial communication system. The antenna in question is a modified vibrator emitter with reactive loads. The results of numerical electrodynamic modeling are presented. The parameters and basic characteristics of the antenna are determined.

Введение

В настоящее время микрополосковые антенны (МПА) находят широкое практическое применение в бортовых и наземных системах связи. Одним из существенных недостатков таких антенн является их узкополосность. Рабочая полоса МПА обычно составляет не более 1-3%, но благодаря их высокой технологичности и удобству совмещения с цифровыми устройствами, разработчики стараются расширить рабочий диапазон частот. В работах [1-8] рассмотрены различные способы расширения рабочей полосы МПА, изложены методы их расчета и приведены конструкции.

В работе [1] рассмотрены следующие способы увеличения рабочей полосы частот: управлением резонансной частотой МПА путем включения р-і-п диодов, прорезыванием в МПА щелей, включением согласующих элементов между зондом и излучателем, а также, использованием многослойных МПА. Результаты электродинамического моделирования, полученные при помощи современных программ, показывают возможность расширения рабочей полосы до 29% по уровню коэффициента стоячей волны (КСВ), равного 2 за счет использования согласующих элементов. В этой работе также рассмотрен способ согласования с помощью щелей сложной формы на примере щели в виде симметричной «бабочки». Этот способ позволил расширить относительную ширину полосы рабочих частот по уровню КСВ=2 до 55%. Однако прорезывание щели в прямоугольном микрополосковом излучателе приводит к искажению формы диаграммы направленности (ДН) и к уменьшению коэффициента направленного действия (КНД). В статье рассмотрены излучатели с различными формами щелей. Показано, что при использовании прямоугольных щелей можно расширить полосу до 96% по уровню КСВ=2. У такого излучателя КНД не отличается от КНД излучателя с согласующими элементами и равен 2,41, так как прямоугольные щели распределены равномерно, ДН практически не искажается.

Наиболее простым способом расширения рабочей полосы микрополосковых антенн является реализация широкополосных антенн в печатном исполнении, описанных в работе [2]. Расширение полосы рабочих частот, в настоящее время

достигается в первую очередь по согласованию излучателей с фидерным трактом. При этом усложняются конструкции элементов фидерного тракта и излучающей системы.

Известна широкополосная печатная антенна, работающая в полосе 45% в X-диапазоне. Конструкция и характеристики антенна приведены в статье [3].

Более просты в конструкции дипольные антенны с расширенным рабочим диапазоном волн.

В работе [4] рассматриваются многослойные многодиапазонные МПА, а также приводятся результаты моделирования таких антенн в программе CST Microwave Studio (MWS) и варианты их практической реализации. Показано, что применение технологии многослойной печати позволяет существенно снизить площади антенн, их металлоемкость, габаритные размеры и стоимость.

В работе [5] дан обзор статей по способам построения широкополосных и многодиапазонных МПА. Рассмотрены узкополосные МПА простейших форм, а также методы их расчета и способы возбуждения. Значительное внимание уделено МПА с высоким усилением: антенным решеткам и многослойным структурам. Приведены примеры построения антенных решеток и их параметры. Рассмотрены многодиапазонные антенны с реактивными нагрузками и фрактальные МПА. Приведены примеры практической реализации МПА со щелями и закороченными штырями. Аналогичный способ расширения рабочей полосы по согласованию применен в работе [7].

Простейшим с технологической точки зрения является подключение реактивных нагрузок в виде щелей [5-7]. Существуют и другие методы расширения рабочей полосы МПА [8-10]. Перспективным направлением является построение полосковых рупорных антенн на воздушных полосковых линиях или с использованием технологии многослойной печати [10].

Моделирование микрополоскового вибраторного излучателя

Рассматриваемые излучатели в основном используются в качестве элементов антенных решеток. В современных наземных системах связи в настоящее время наметился переход от апертурных антенн к широкополосным антенным решеткам с широкоугольным сканированием. Такие антенные системы могут быть реализованы в виде конформных или пространственных фазированных антенных решеток (ФАР). При этом пространственные антенные решетки имеют лучшие энергетические и стоимостные характеристики, чем конформные, за счет того, что в излучение вносят вклад все элементы и есть возможность минимизации числа излучающих и управляющих элементов. Но это достоинство пространственных антенных решеток сильнее проявляется с увеличением направленности и, соответственно, эквивалентного излучающего раскрытия. В рассматриваемом случае он составляет 1,5 от длины волны. Поэтому существенной разницы между коэффициентом усиления (КУ) пространственной и цилиндрической антенны не будет.

Для построения пространственных антенных решеток с широкоугольным сканированием необходимы ненаправленные в азимутальной плоскости излучатели. Как правило, в качестве элементов таких антенн рассматриваются вибраторные излучатели. Необходимо, чтобы шаг излучателей в эквивалентной апертуре был меньше длины волны. При коммутационном сканировании в схеме из восьми элементов будут отсутствовать искажения ДН, т.к. при любом положении луча проекции элементов на эквивалентный излучающий раскрытие будут одинаковыми. При этом расстояние между элементами получается равным половине длины волны. Такая

схема построения может быть реализована на элементах в микрополосковом исполнении. Для увеличения усиления целесообразно размещать элементы в два этажа.

На рис.1а показан микрополосковый вибраторный излучатель и рис.1б - такой же излучатель со щелями.

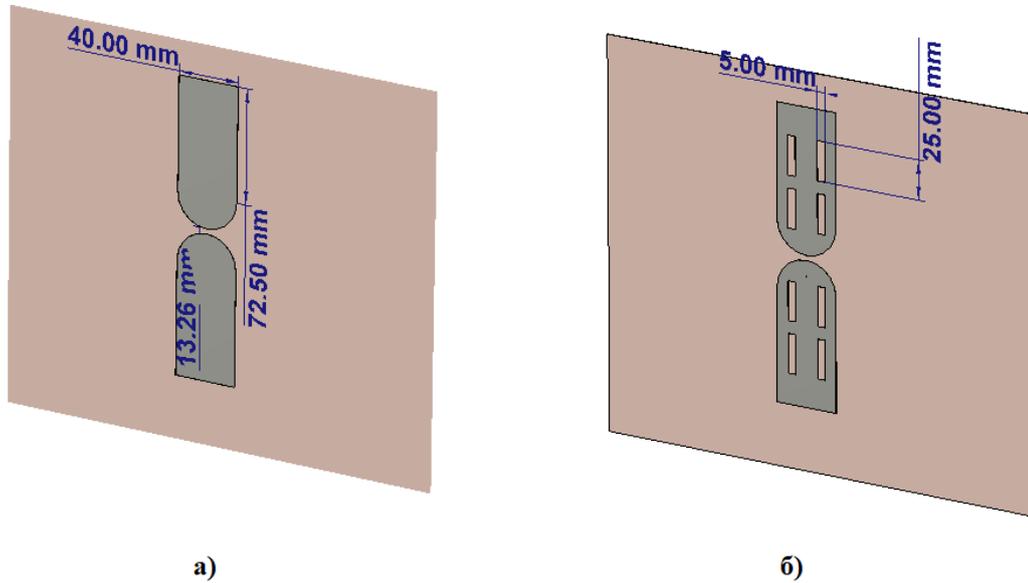


Рис. 1. Общий вид микрополоскового вибраторного излучателя

Модель излучателя рассчитана с учетом параметров материала подложки RO4003С, параметры которого приведены в таблице 1. Возбуждение излучателя осуществляется коаксиальным кабелем SF-085/086-FEP.

Таблица 1

Dielectric Constant, ϵ_r	Dissipation Factor \tan, δ	Thermal Coefficient of ϵ_r , ppm/°C	Density, gm/cm ³
3.38 ± 0.05	0.0027	+40	1.79

На рис.2. приведены диаграммы направленности микрополоскового вибраторного излучателя без щелей и со щелями.

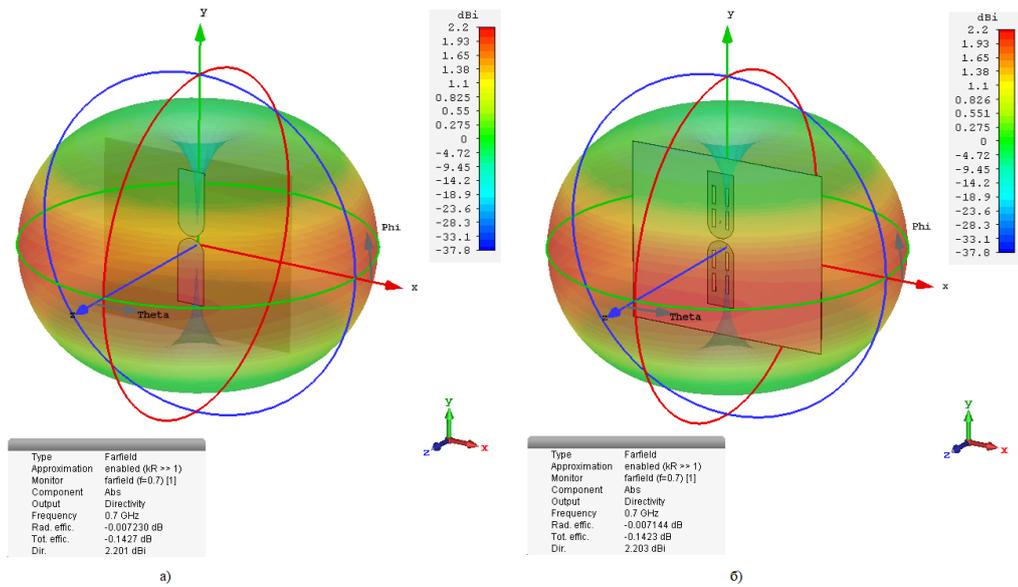


Рис. 2. Диаграмма направленности микрополоскового вибраторного излучателя: *a* – без щелей, *б* – со щелями

На рис.3 приведены зависимости КСВ от частоты для антенн, показанных на рис.1а,б. На рис.4 показаны элементы цилиндрической антенной решетки из микрополосковых вибраторных излучателей без щелей и со щелями.

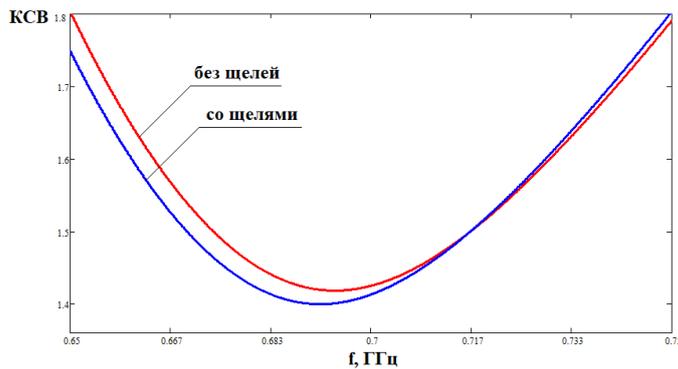


Рис. 3. Зависимость КСВ от частоты

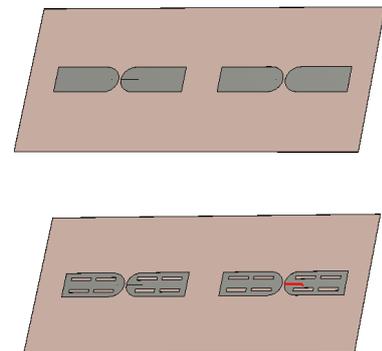


Рис.4 Элементы цилиндрической антенной решетки

На рис.5 приведены диаграммы направленности двух вибраторных излучателей со щелями и без щелей.

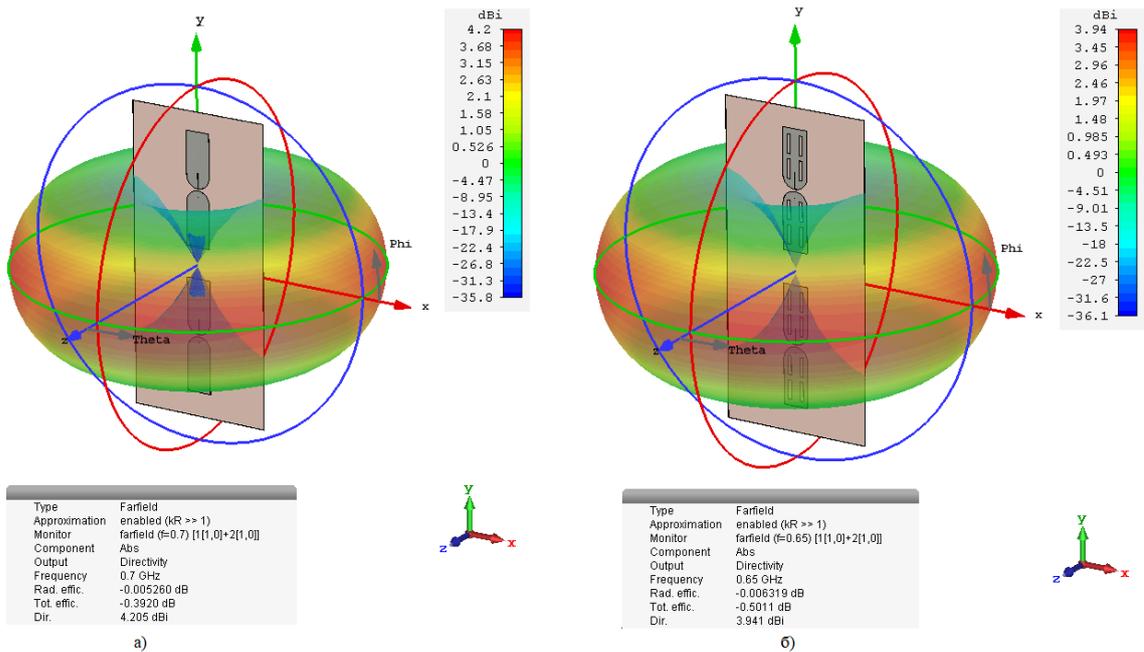


Рис. 5. Диаграмма направленности двух вибраторов: а – без щелей, б – со щелями

Из расчетов видно, что использование щелей приводит к снижению коэффициента усиления. Такой же результат получается и при включении реактивных нагрузок в виде штырей [7].

На рис.6 приведены зависимости коэффициентов отражения и передачи от частоты, построенные с учетом взаимного влияния излучателей для антенной решетки из двух элементов со щелями. На рис.7 показаны зависимости КСВ от частоты для антенной решетки из двух элементов со щелями.

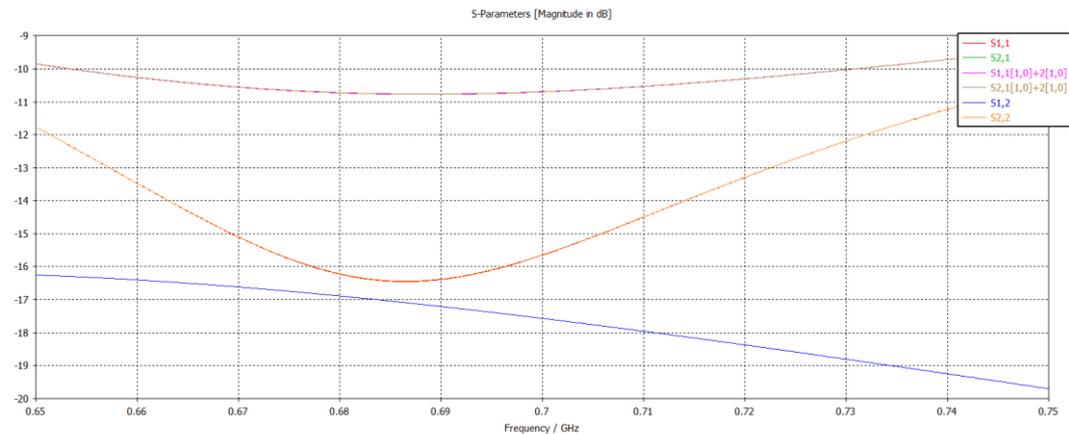


Рис.6. Зависимости коэффициентов отражения и передачи от частоты

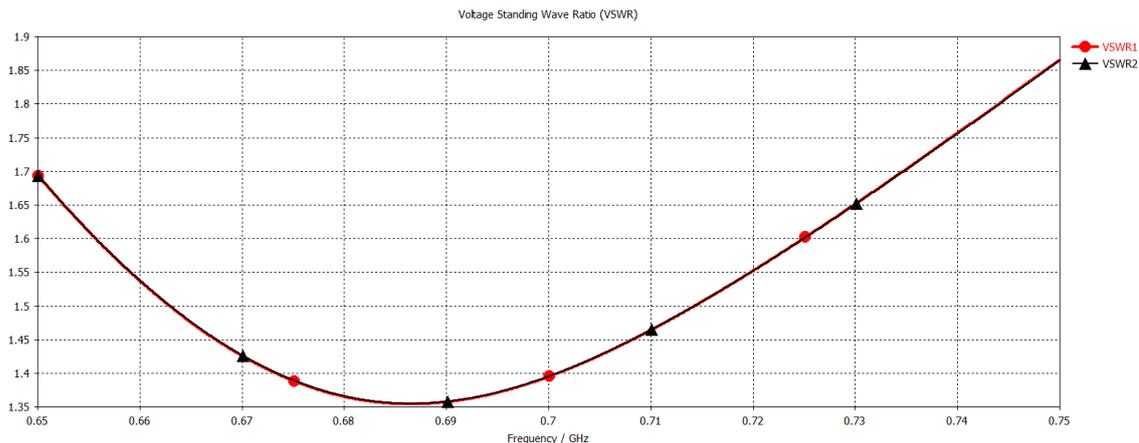


Рис.7. Зависимости КСВ от частоты

Таким образом, разработана микрополосковая антенна, обеспечивающая работу в полосе 9%. Показана возможность расширения рабочей полосы по согласованию. Приведены диаграммы направленности и частотные характеристики таких антенн, а также антенных решеток из двух элементов.

Литература

1. Нечаев Ю.Б., Борисов Д.Н., Мальцев А.С. Увеличение полосы рабочих частот микрополосковых антенн для систем связи// Вестник Воронежского института МВД России. - 2008. - №1. - с . 138-146.
2. Сверхширокополосные антенны. Бененсона Л.С. М., Мир, 1964 г.
3. Семенин С.Н., Бушкин С.С., Колмакова Н.Г., Меджитов Р.Д. Микрополосковая антенна X-диапазона с полосой пропускания 45%. Труды 24-й Международной конференции "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии" Севастополь, сентябрь 2014 г, С. 489–490.
4. Папилов К.Б. Малогабаритные многослойные печатные антенны. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва 2015г.-164с.
5. Бабичев Д.А. Разработка и исследование микрополосковой антенны на основе фрактального подхода. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург 2016г.-104с.
6. Юрцев О.А. Резонансные и апертурные антенны. Ч.2: Методическое пособие по курсу "Антенны и устройства СВЧ" для студентов специальности "Радиотехника ".В 3 Ч. - Мн.: БГУИР, 2000, 89 с.
7. Dmitriy Voskresenskiy, Elena Ovchinnikova , Nguen Dinh To, Pham Van Vinh and Ye Htut Khaung. Extension of the operating band of printed emitters using distributed excitation. 29th International Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2019) /ITM Web of Conferences. — 2019. — V. 30. — 05011. [Электронный ресурс]
8. D.I. Voskresenskiy, E.V. Ovchinnikova , Nguen Dinh To, S.G. Kondratyeva, P.A. Shmachilin Printed emitters with distributed excitation. 6th International Conference «Engineering and Telecommunication En&T-2019». Москва, 20-21 ноября 2019 г.
9. Овчинникова Е.В., Шумилов Т.Ю., Е Хтут Кхаунг Антенная решетка из сверхширокополосных излучателей «бабочка». Журнал «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ», Т. 172 № 5 2019, С.25-31.
- 10.Е.В. Овчинникова, С. Г. Кондратьева, П. А. Шмачилин, Нгуен Динь То , А. Г. Генералов, Э. В. Гаджиев, М. Р. Салихов. Применение рупорной антенны в качестве бортовой антенны радиолинии передачи целевой информации. Журнал «Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ.» – 2019. – Т. 173. – № 6. – С. 41 – 50.