

19. Панычев А.И. Алгоритм трассировки лучей внутри зданий // Излучение и рассеяние электромагнитных волн: Труды Междунар. научн. конф. «Излучение и рассеяние электромагнитных волн – ИРЭМВ-2011». – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2011. – С. 371-375.
20. Панычев А.И. Трассировка многолучевого распространения радиоволн внутри зданий // Вопросы специальной радиоэлектроники. Серия «Общие вопросы радиоэлектроники (ОВР)». Научн.-техн. сборник. Вып. 1. – М.-Таганрог, 2012. – С. 182-187.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэлян.

Панычев Андрей Иванович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: andrey_panychev@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: +78634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; к.т.н.; доцент.

Panychev Andrey Ivanovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: andrey_panychev@mail.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371733; the department of antennas and radio transmitters; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК621.396.677

А.И. Семенихин, Д.В. Семенихина, С.Н. Сергеев, С.Н. Носаков

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ КОМПАКТНЫЕ МИКРОПОЛОСКОВЫЕ АНТЕННЫ С ЕМКОСТНЫМ МИКРОПОЛОСКОВЫМ ПИТАНИЕМ

Рассмотрены три модели широкополосных компактных микрополосковых антенн (МПА) с радиопрозрачным обтекателем для работы в полосе частот 1,2...1,65 ГГц. Они отличаются различной формой кольцевого излучающего полоска и слабой емкостной связью с микрополосковой линией (МПЛ) питания. Каждая антенна содержит подвешенную подложку FR4 с излучающим и питающим полосками и нижнюю подложку FR4 с МПЛ и широкополосным переходом от МПЛ к питающему полоску. В полосе частот 37,5 % они имеют КСВН не более 2,8–3,9; коэффициент усиления 4,4–6,8 дБ и размеры 87,2 мм×80 мм×28,3 мм. Экспериментальные исследования макета МПА подтвердили приведенные оценки характеристик антенны.

Компактная микрополосковая антенна; широкополосность; емкостное питание; питающая микрополосковая линия; обтекатель.

A.I. Semenikhin, D.V. Semenikhina, S.N. Sergeev, S.N. Nosakov

WIDEBAND COMPACT MICROSTRIP ANTENNA WITH CAPACITANCE MICROSTRIP FEEDING

We consider three models of compact wideband microstrip antennas (MSA) with radome to operate in the frequency range 1.2 to 1.65 GHz. They are characterized by different forms of ring-radiating patch and a weak capacitive coupling with the feeder microstrip line. Each antenna has a suspended substrate FR4 with radiator patch and feed strip and a lower substrate FR4 with the microstrip line and broadband transition from the microstrip line to the feeder strip. They have VSWR less than 2.8–3.9, the maximum realized gain 4.4–6.8 dBi, and the sizes 87.2 mm×80 mm×28.3 mm in the band 37.5 %. The experimental study of the prototype, manufactured by model 1, confirmed the estimates of achievable antenna performance.

Compact microstrip antenna; widebandness; capacitive coupling; feeder microstrip line; radome.

Компактные микрополосковые антенны (МПА) с широкой и сверхширокой полосой частот применяются при построении антенн спутниковых систем навигации GLONASS/GPS/Galileo [1]. Конструкции МПА могут содержать усилитель и

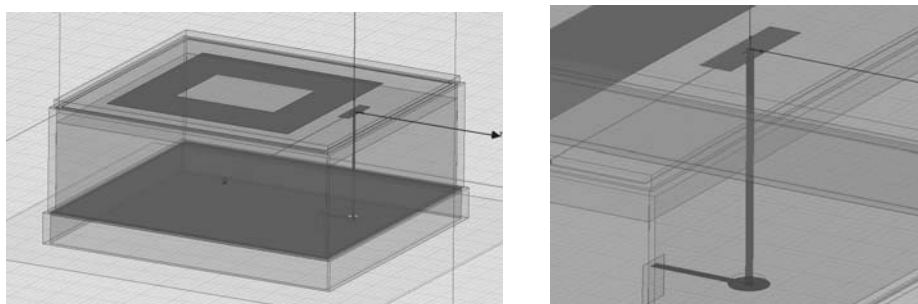
радиопрозрачный обтекатель. При этом предпочтительны более технологичные МПА как можно меньших размеров с однослойной подвешенной диэлектрической подложкой. Однако их полоса обычно не превышает 20 %.

Одним из способов расширения полосы рабочих частот МПА является применение слабой емкостной связи между питающим фидером и полоском [2–6]. Так, например, известны прямоугольные кольцевые МПА со слабой емкостной связью и коаксиальным питанием, работающие в полосе частот 4,4...7,1 ГГц [7].

Приведем результаты исследований трех моделей широкополосных компактных МПА с различной формой кольцевых излучающих полосков для работы в полосе частот 1,2...1,65 ГГц. Расчеты характеристик МПА проведены в программе *Ansoft HFSS* [8].

Все рассмотренные модели МПА содержат тонкую подвешенную подложку FR4 толщиной 3,2 мм с излучающим (основным) и питающим (дополнительным) полосками, радиопрозрачный обтекатель из материала с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon=3$ толщиной 1,5 мм, нишу усилителя и диэлектрическую подложку из FR4 толщиной 0,5 мм для размещения на ней платы усилителя и микрополосковой линии питания антенны. Верхняя сторона этой подложки металлизирована и является экраном. Во всех моделях питание излучающих полосков осуществляется с помощью слабой емкостной связи с малым питающим полоском и стержнем. Стержень соединен с микрополосковой линией, расположенной на нижней стороне подложки усилителя через широкополосный переход.

Первая модель МПА (рис. 1,а) имеет меньшие, чем в [2] (относительно средней длины волны) габаритные размеры: длина 87,7 мм, ширина 80 мм, высота – 30,3 мм. Размеры малого питающего полоска – 12x2,5 мм; размеры излучающего прямоугольного полоска – 55x55 мм; размеры прямоугольного окна в нем – 30x24 мм, размер зазора между этими полосками – 5 мм. Питание антенны (рис. 1,б) осуществляется микрополосковой линией, расположенной на стороне подложки усилителя с соответствующим широкополосным переходом от линии к стержню питания антенны. Диаметр стержня питания – 0,95 мм; диаметр окна в экране (для стержня) – 3 мм.



а

б

Рис. 1. Модель 1 МПА: а – МПА с обтекателем и экранированной нишей усилителя; б – питание антенны микрополосковой линией на стороне подложки усилителя с широкополосным переходом от линии к стержню питания

На рис. 2–4 приведены основные характеристики первой модели МПА. Видно, что в диапазоне частот 1,17...1,77 ГГц КСВН не более 2,8, а на частотах 1,2 ГГц и 1,6 ГГц КСВН не более 2. Равномерность диаграммы направленности (ДН) антенны не хуже, чем у элементарного вибратора. Реализованный коэффициент усиления (КУ) (с учетом КПД и КСВН) вдоль оси антенны равен 4,4 дБ в диапазоне 1,2 ГГц и около 6,8 дБ в диапазоне 1,6 ГГц.

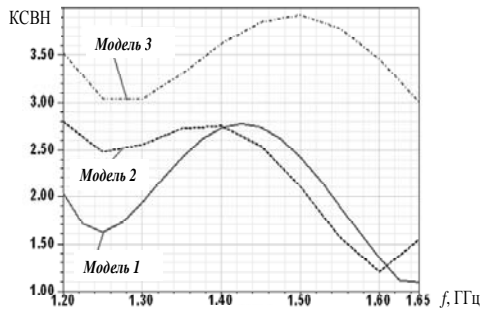


Рис. 2. Частотные характеристики КСВН

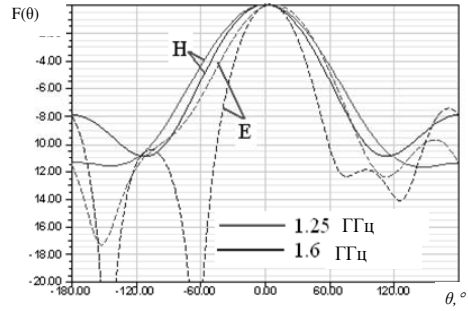


Рис. 3. Нормированные ДН в плоскостях Е и Н по полной амплитуде поля на частотах 1,25 ГГц и 1,6 ГГц для модели 1

Если требуется излучатель с более широкой ДН, необходимо добиваться более равномерного распределения поля Е вдоль излучающих кромок полоска (рис. 5).

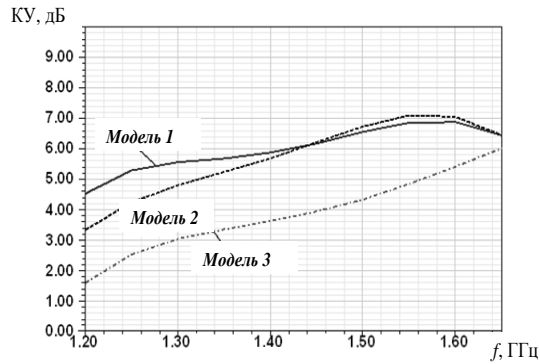


Рис. 4. Частотные характеристики реализованного КУ

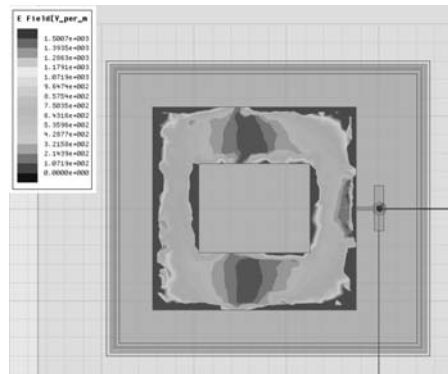


Рис. 5. Поле Е на поверхности излучающего полоска в модели 1

Для этого было исследовано две модели МПА с модифицированными формами излучающих полосков, показанные на рис. 6. Габаритные размеры моделей одинаковы: длина 87,2 мм, ширина 80 мм, высота – 28,3 мм. Излучающий полосок имеет меньшие размеры внутреннего окна: для модели 2 (рис. 6,а) окно 2х2 мм;

для модели 3 (рис. 6,б) 10x10 мм. Модель 2 МПА имеет более низкий уровень КСВН в диапазоне 1.4...1.6 ГГц (см. рис. 2), однако ДН остаются примерно такими же как и для модели 1, поскольку распределение поля E вдоль излучающих кромок по-прежнему неравномерно (рис. 7,а). Форма полоска в модели 3 обеспечивает наиболее равномерное возбуждение криволинейных кромок излучающего полоска (рис. 7,б), в результате чего ДН становится более равномерной (рис. 8), но модель 3 имеет высокий КСВН (см. рис. 2) и более низкий КУ (рис. 4).

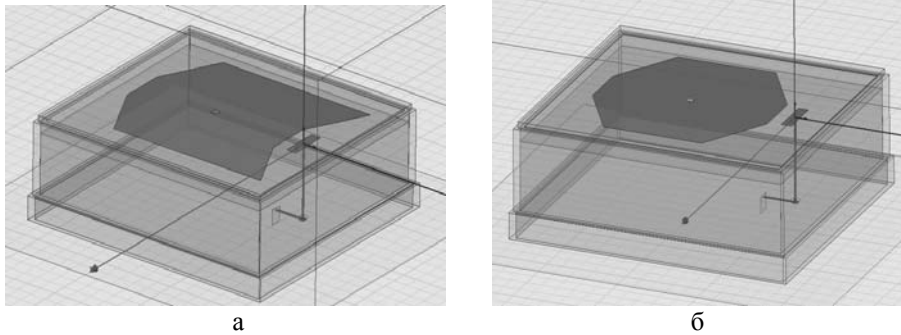


Рис. 6. Модели МПА: а – модель 2, б – модель 3

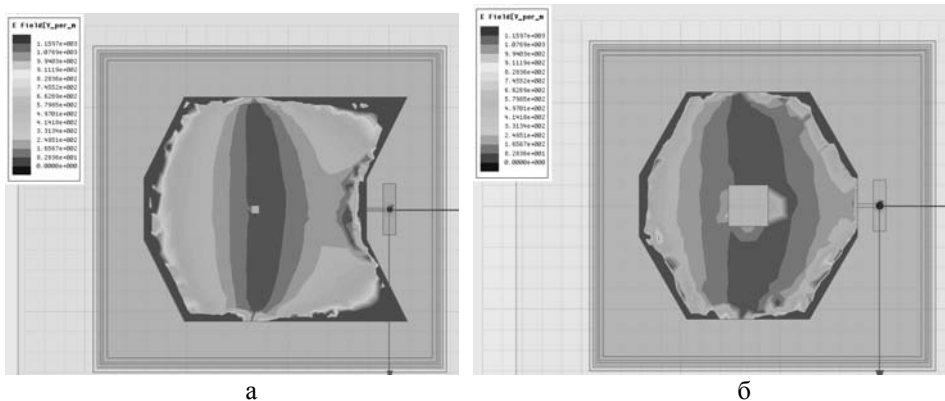


Рис. 7. Поле E на поверхности излучающего полоска: а – модель 2, б – модель 3

Исходя из результатов моделирования трех широкополосных компактных МПА на подвешенной подложке FR4 со слабой емкостной связью с питающей микрополосковой линией для изготовления опытного образца был сделан выбор в пользу модели 1.

Макет антенны был изготовлен в ОПБ ЮФУ в рамках выполнения комплексного проекта «ИТК-КВАНТ КП» «Создание высокотехнологичного производства по изготовлению информационно-коммуникационных комплексов спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS/Galileo».

На рис. 9 показан общий вид макета антенны. Экспериментальные исследования проводились в ЦКП ЮФУ «Прикладная электродинамика и антенные измерения» на базе автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса. На рис. 10, 11 приведены основные экспериментальные характеристики макета антенны. Из результатов эксперимента следует, что величина КСВН антенны на шести частотах (рис. 10) изменяется в пределах 1,2–2,1, что соответствует результатам расчетов КСВН на этих же частотах (по расчетам КСВН равен 1,2–2).

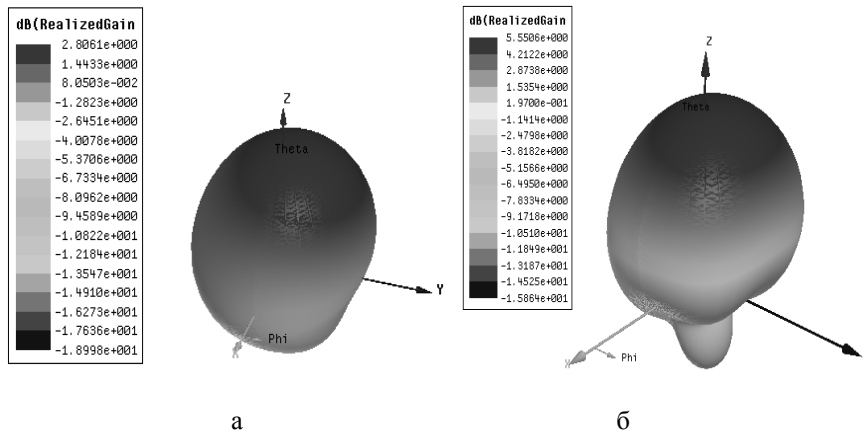


Рис. 8. 3D-диаграммы реализованного коэффициента усиления модели 3:
 а – частота 1,25 ГГц, б – частота 1,6 ГГц

Уровень измеренного коэффициента направленного действия (КНД) антенны на этих частотах изменяется в пределах 5,2–9,2 дБ с максимумом 9,2 дБ на частоте 1550 МГц, что соответствует результатам расчетов КНД на этих же частотах (по расчетам КНД = 5,3–7,5 дБ с максимумом 7,5 дБ также на частоте 1550 МГц).

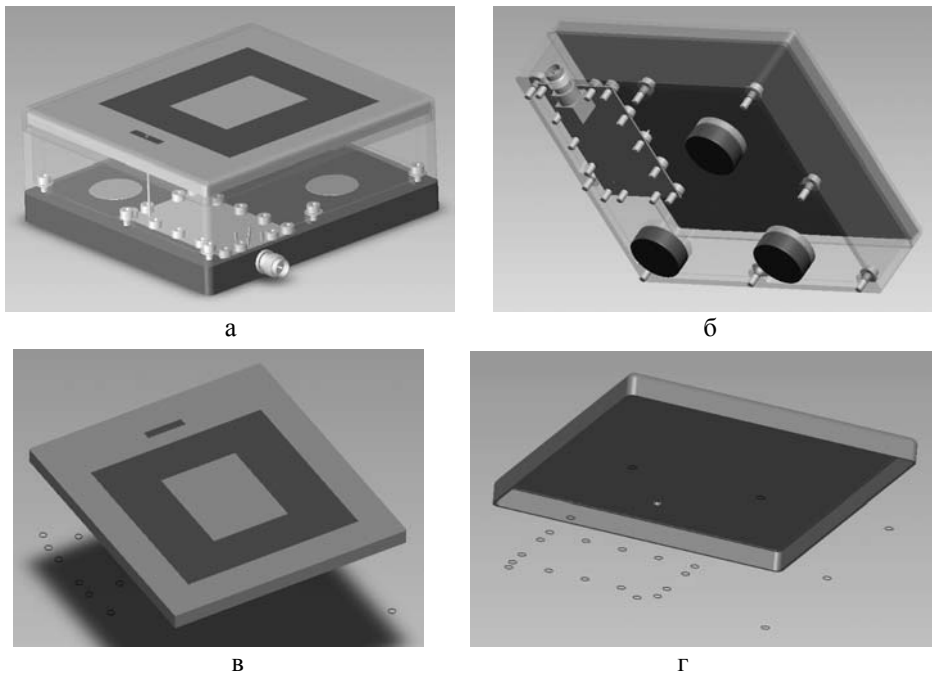


Рис. 9. Макет антенны с усилителем и обтекателем: а – макет в сборе, вид сверху, б – макет в сборе, вид снизу, в – подложка антенны с полосками, г – обтекатель антенны

Таким образом, сделанные путем электродинамического моделирования оценки КСВН и КНД антенны подтверждены результатами эксперимента.

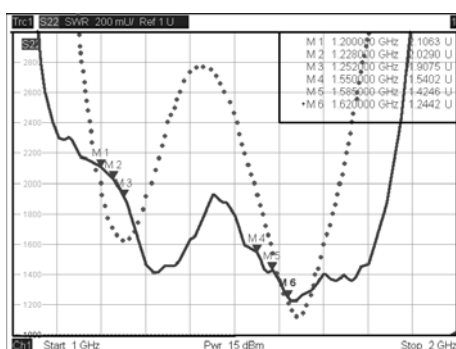


Рис. 10. Частотная характеристика КСВН антенны (сплошная линия – эксперимент; точки – расчет)

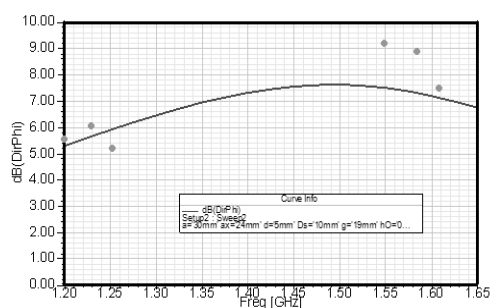


Рис. 11. Частотная характеристика КНД антенны (сплошная линия – расчет; точки – эксперимент)

Закключение. В статье представлены результаты моделирования трех широкополосных компактных МПА на подвешенной подложке FR4 со слабой емкостной связью и питающей микрополосковой линией в полосе частот 1,2...1,65 ГГц. Учтено влияние радиопрозрачного обтекателя на работу антенн. Проанализировано влияние различной формы кольцевого излучающего полоска на КСВН, ДН и КУ антенн (размеры антенн: 87,2 мм×80 мм×28,3 мм). Показано, что в полосе частот 37,5 % антенны имеют КСВН не более 2,8–3,9; КУ вдоль нормали к антенне 4,4–6,8 дБ (модель 1); 3,3–7 дБ (модель 2); 1,6–6 дБ (модель 3). Экспериментальные исследования макета антенны подтвердили рассчитанные характеристики антенны.

Полученные результаты могут быть использованы при построении дешевых антенн для приема сигналов навигационных спутников GLONASS/GPS/Galileo.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kin-Lu Wong*. Compact and Broadband Microstrip Antennas, John Wiley & Sons. Inc. – New York, 2002.
2. *Kumar G., Ray K.P.* Broadband Microstrip Antennas, Artech House, Norwood, Mass, USA, 2003.
3. *Palanisamy V., Garg R.* Rectangular ring and H-shaped microstrip antennas-alternatives to rectangular patch antenna // Electronics Letter. – Vol. 21, № 19, September 12, 1985.
4. *Deshmukh A.A., Kumar G.* Formulation of resonance frequency for compact microstrip antennas // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 2006.
5. *Vandenbosch G.A.E., Van de Capelle A.R.* Study of the capacitive feed microstrip antenna element // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1994. – № 12. – P. 1648.
6. *Kasabegoudar V.G., Upadhyay D.S., Vinoy K.J.* Design studies of ultra-wideband microstrip antenna with a small capacitive feed// Internation Journal of Antenna and Propagation, Article ID 67503, 8, 2007, doi:1155/2007/67503.
7. *Singh S.K., Singh A.K.* UWB Rectangular Ring Microstrip Antenna with Simple Capacitive Feed for Breast Cancer Detection// Progress In Electromagnetics Research Symposium, Beijing, China, March 23, 2009. – P. 1639-1642.
8. www.ansoft.com.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэльян.

Семенихин Андрей Илларионович – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: anilsem@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А; тел.: 88634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; д.т.н.; профессор.

Семенихина Диана Викторовна – e-mail: d_semenikhina@mail.ru; кафедра антенн и радио-передающих устройств; д.т.н.; профессор.

Сергеев Сергей Николаевич – e-mail: veter@tsure.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, ГСП-96; тел.: 88634318000; заместитель директора по развитию производства опытно-производственной базы Южного федерального университета.

Носаков Сергей Николаевич – e-mail: ross@tsure.ru; ведущий конструктор опытно-производственной базы Южного федерального университета.

Semenikhin Andrey Ilarionovich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: anilsem@mail.ru; GSP 17A, 44, Nekrasovsky Taganrog, 347928, Russia; phone: 88634371733; the department of antennas and radio transmitters; dr. of eng. sc.; professor.

Semenikhina Diana Viktorovna – e-mail: d_semenikhina@mail.ru; the department of antennas and radio transmitters; dr. of eng. sc.; professor.

Sergeev Sergey Nikolaevich – e-mail: veter@tsure.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347922, Russia; phone: 88634318000; deputy director for the development of production of development and production base of the Southern federal university.

Nosakov Sergey Nikolaevich – e-mail: ross@tsure.ru; master constructor of development and production base of the Southern federal university.

УДК 621.396.677

Ю.В. Юханов, Н.И. Бобков, А.И. Семенихин, Д.В. Семенихина

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РУПОРНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ МНОГОЛУЧЕВОЙ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ

Разработан сверхширокополосный рупорный облучатель многолучевой зеркальной антенны (ЗА), предназначенный для работы в диапазоне 2–18 ГГц, имеющий характеристики направленности в H-плоскости, приближенные к характеристикам синфазного рупора. Для повышения эффективности возбуждения апертуры ЗА на нижних частотах рабочего диапазона в E-плоскости устанавливается широкоугольная расфазированная насадка на раскрытие двухребневого рупора, а закорачивающие стержни в начале гребней устраняют полуволновый резонанс тока на их вертикальных торцах на высоких частотах.

Приведены результаты расчета рупора после оптимизации его параметров и экспериментальные данные, подтверждающие достоверность электродинамической модели рупора.

Сверхширокополосная зеркальная антенна; рупорный облучатель; двухребневый рупор.

Y.V. Yukhanov, N.I. Bobkov, A.I. Semenikhin, D.V. Semenikhina

ELECTRODYNAMIC MODELING OF FEED HORN OF MULTIPATH ULTRA WIDEBAND REFLECTOR ANTENNA

The ultrawideband feed horn of reflector antenna (RA), working in a range of 2 to 18 GHz and having patterns in the H-plane, close to the pattern of co-phased horn is designed. Wide angle misphased nozzle on the aperture of the double-ridged horn is set to improve the efficiency of excitation of the RA aperture at the lower frequencies in E-plane. Shorting rods at the beginning of ridges eliminate the half-wave resonance of current on their vertical ends at high frequencies.

The results of the calculation of the horn after optimization of its parameters and experimental data supporting the reliability of the horn electrodynamics' model are presented.

Ultrawideband reflector antenna; feed horn; double-ridged horn.