

АНТЕННО-ФИДЕРНЫЕ
СИСТЕМЫ

УДК 621.396.67

СВЕРХШИРОПОЛОСНЫЙ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ
РУПОРНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ© 2021 г. В. А. Калошин^а, В. Ч. Фам^б, *^аИнститут радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
ул. Моховая, 11, стр. 7, Москва, 125007 Российская Федерация^бМосковский физико-технический институт (Национальный исследовательский университет),
Институтский пер., 9, Долгопрудный Московской обл., 141700 Российская Федерация

*E-mail: phamchung@phystech.edu

Поступила в редакцию 10.10.2020 г.

После доработки 10.10.2020 г.

Принята к публикации 12.12.2020 г.

Предложен и исследован сверхширокополосный облучатель в виде трехслойного металлодиэлектрического конического рупора. Рупор имеет двухслойное диэлектрическое заполнение, третий слой – воздух. Электродинамическое моделирование и оптимизация параметров излучателя проведены с использованием методов конечных элементов и конечных разностей во временной области. В результате численного моделирования показано, что оптимизированный облучатель в полосе частот 76% обеспечивает согласование на уровне ниже –15 дБ, уровень главного лепестка амплитудной диаграммы направленности на границах угла облучения (56°) лежит в пределах –10...–15 дБ, при этом неравномерность фазовой диаграммы направленности – менее 7° .

DOI: 10.31857/S0033849421070056

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что рабочая полоса частот зеркальных и линзовых антенных систем определяется прежде всего облучателем. В связи с необходимостью реализации широкополосного и многодиапазонного режима работы антенных систем в различных приложениях разработке соответствующих облучателей посвящен ряд работ [1–7].

В статье [1] было проведено исследование характеристик излучения открытого конца круглого металлодиэлектрического волновода (экранированного диэлектрического волновода). Теоретическое исследование показало возможность реализации в полосе частот 9...13 ГГц осесимметричных диаграмм направленности (ДН) со стабильной шириной главного лепестка на двух поляризациях при низком уровне кросс-поляризации и боковых лепестков.

В работе [2] представлены результаты исследования рупора с диэлектрическим заполнением для спутниковой связи. Рупор может работать в двух диапазонах, в частности, в С- и К_u-диапазонах частот.

В работе [3] предложен облучатель для работы в декадной полосе частот. Экспериментальные исследования макета такого облучателя [4] показали, что коэффициент отражения в полосе частот 2...14 ГГц в ряде частотных точек превышает

уровень –10 дБ. Амплитудная и фазовая ДН облучателя в работе [4] не приведены.

Различные варианты четырехребневого нерегулярного рупорного облучателя исследованы в работах [5–7]. Моделирование и измерения экспериментальных образцов [5] показали стабилизацию ширины ДН в диапазоне 2...12 ГГц. Измеренные коэффициенты отражения меньше –10 дБ во всем указанном диапазоне и меньше –15 дБ в диапазоне частот 2.5...11 ГГц. Фазовые ДН в этих работах не исследовались.

Цель данной работы – исследование и оптимизация характеристик рупорного металлодиэлектрического облучателя с двухслойным диэлектрическим заполнением для реализации стабильной ширины главного лепестка и фазовой ДН в сверхширокой полосе частот.

1. ИССЛЕДОВАНИЕ
И ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
РУПОРНОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ

Рассмотрим трехслойный осесимметричный металлодиэлектрический рупор (рис. 1), где a и b – радиусы апертуры первого и второго диэлектрического конуса соответственно, c – радиус апертуры металлического конуса, ϵ_1 и ϵ_2 – диэлектрические проницаемости первого и второго

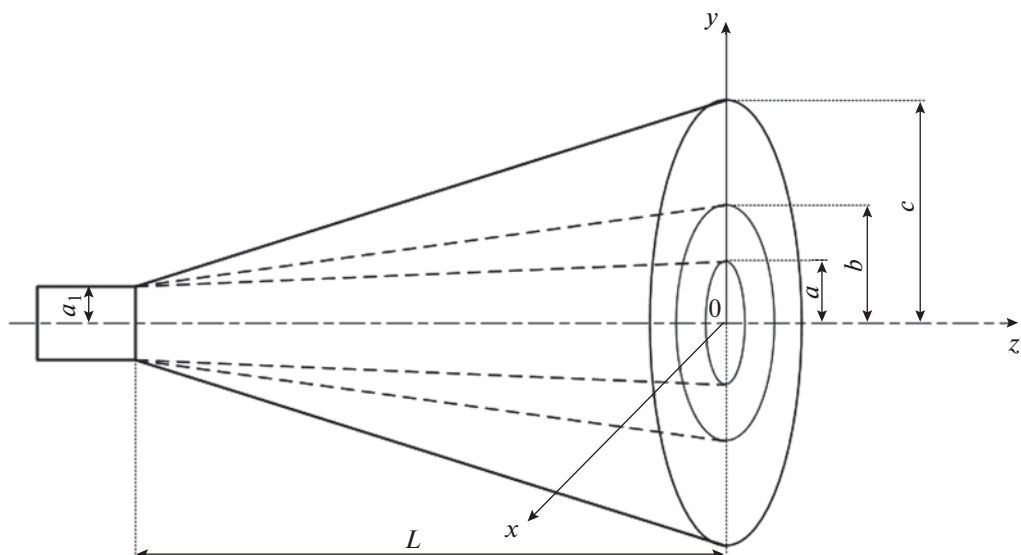


Рис. 1. Металлодиэлектрический рупорный облучатель.

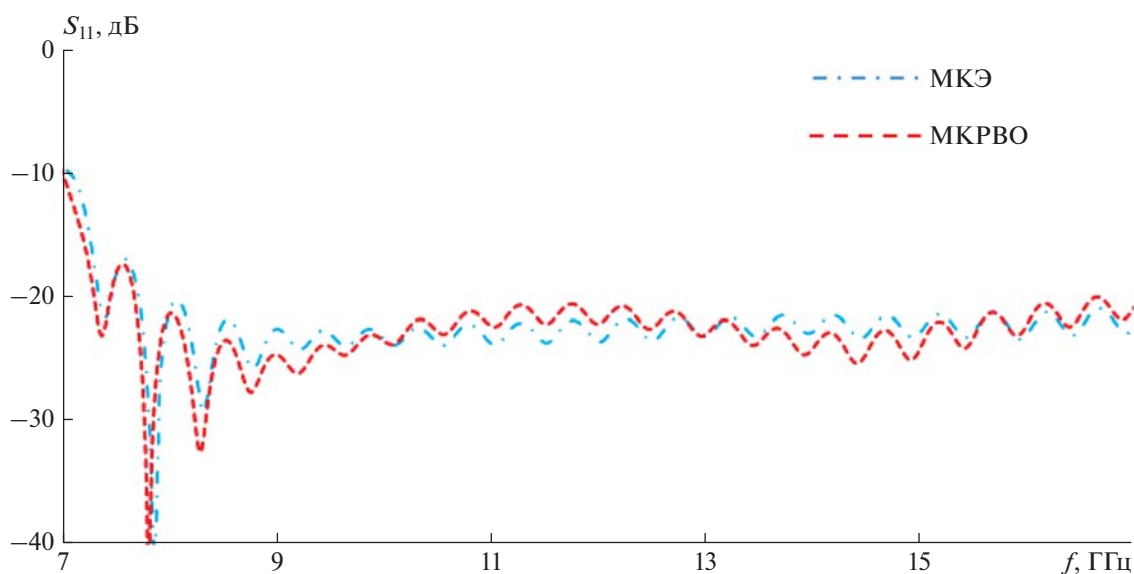


Рис. 2. Зависимость коэффициента отражения S_{11} облучателя от частоты, рассчитанная с использованием МКЭ (1) и МКРВО (2).

конусов. Рупор возбуждается заполненным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 металлическим волноводом радиусом a_1 .

С использованием электродинамического моделирования методом конечных элементов (МКЭ) и методом конечных разностей во временной области (МКРВО) были исследованы частотные зависимости ширины главного лепестка ДН и коэффициента отражения от входа рупорного облучателя. В процессе моделирования проводилась оптимизация по всем параметрам для заданной

длины рупора $L = 250$ мм с целью максимизации полосы частот, в которой уровень главного лепестка ДН на заданном угле находится в интервале $-10 \dots -15$ дБ. В результате для угла отклонения от оси 28° были найдены оптимальные значения параметров $a_1 = 11$ мм, $a = 15.25$ мм, $b = 28$ мм, $c = 60$ мм, $\epsilon_1 = 1.4$, $\epsilon_2 = 1.18$.

Рассчитанная с использованием МКЭ и МКРВО частотная зависимость коэффициента отражения S_{11} от входа рупора представлена на рис. 2. На рисунке видно, что коэффициент отражения в по-

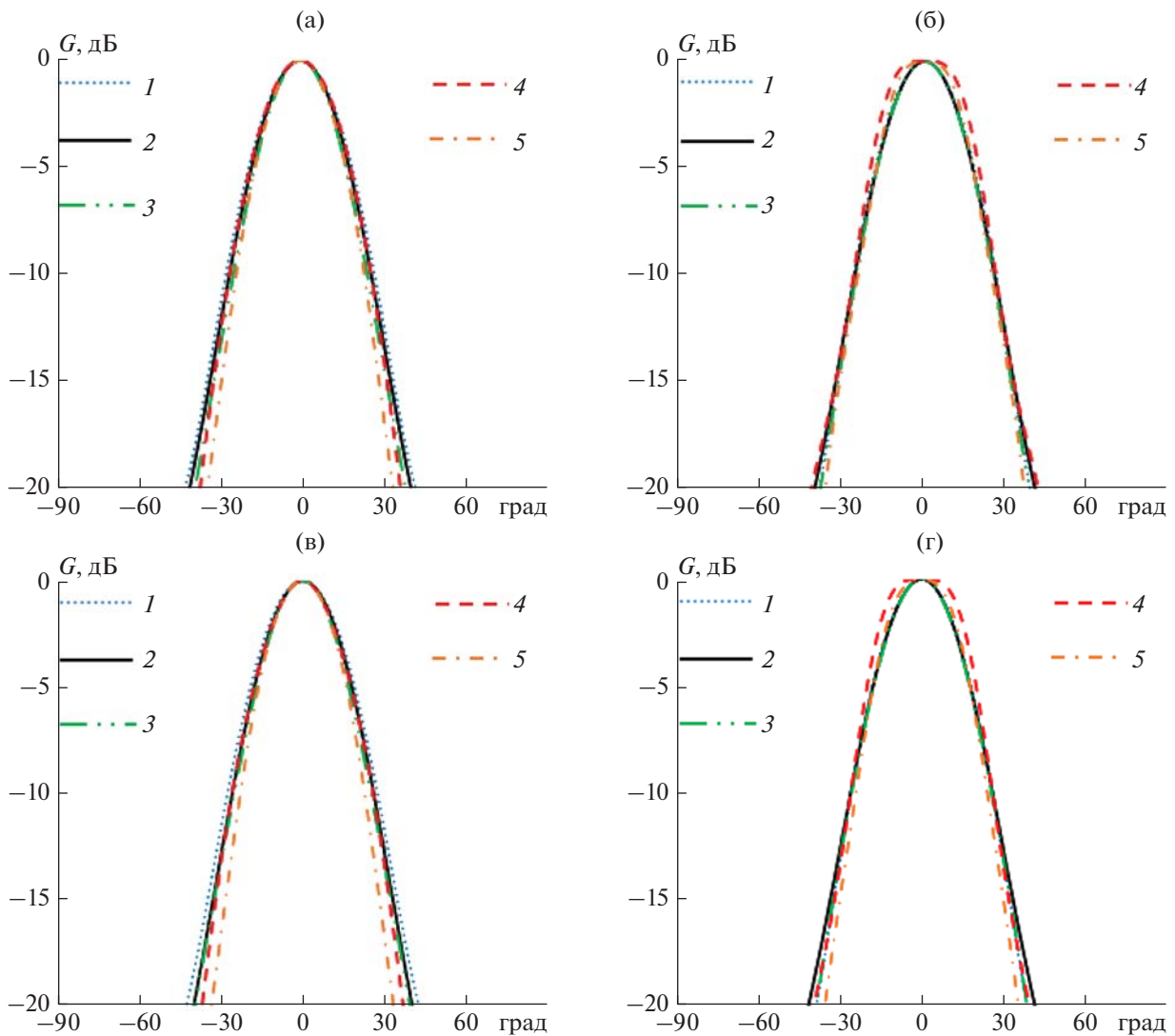


Рис. 3. Диаграммы направленности облучателя в Е- (а, в) и Н-плоскостях (б, г), рассчитанные с использованием МКЭ (а, б) и МКРВО (в, г) на частотах 7 (1), 9 (2), 11.5 (3), 14 (4) и 16.3 ГГц (5).

лосе частот 7.3...16.3 ГГц не превышает уровень -15 дБ.

Диаграммы направленности облучателя в Е- и в Н-плоскостях на пяти частотах, рассчитанные с использованием МКЭ и МКРВО, представлены на рис. 3. На рисунке видно, что ширина ДН на уровне -10 дБ почти не меняется при изменении частоты.

На рис. 4 представлены частотные зависимости полуширины главного лепестка ДН излучателя по уровням -10 и -15 дБ, рассчитанные также с использованием МКЭ и МКРВО. Из рисунка видно, что для угла отклонения от оси 28° (штрих-пунктирная линия) уровень главного лепестка ДН в полосе частот 7...16.3 ГГц лежит в пределах -10 ... -15 дБ.

На рис. 5 показана зависимость положения фазового центра облучателя от частоты, рассчитанная с использованием МКЭ, а также его оптимальное положение (внутри излучателя на расстоянии 2 мм от апертуры).

На рис. 6 приведены фазовые ДН облучателя на пяти частотах, рассчитанные с использованием МКЭ для оптимального положения фазового центра. Как видно из рисунка, в Е- и в Н-плоскости фазовые искажения ДН в угле 56° не превышают 7° .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

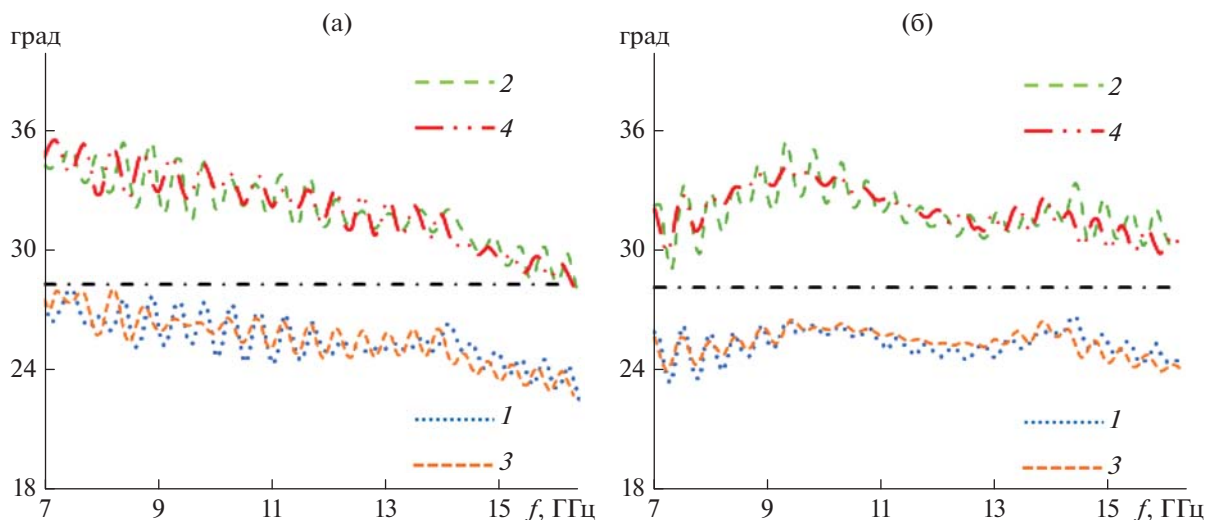


Рис. 4. Частотные зависимости полуширины главного лепестка ДН излучателя в Е- (а) и Н-плоскостях (б), рассчитанные с использованием МКЭ (1, 2) и МКРВО (3, 4) по уровням 10 (1, 3) и 15 дБ (2, 4); штрих-пунктирной линией показан заданный угол (28°).

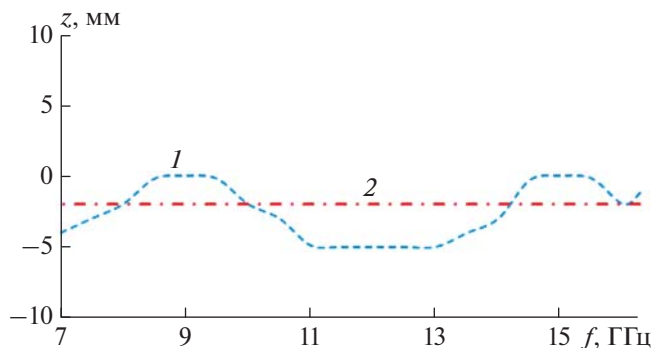


Рис. 5. Зависимость положения фазового центра (1) от частоты и его оптимальное положение (2).

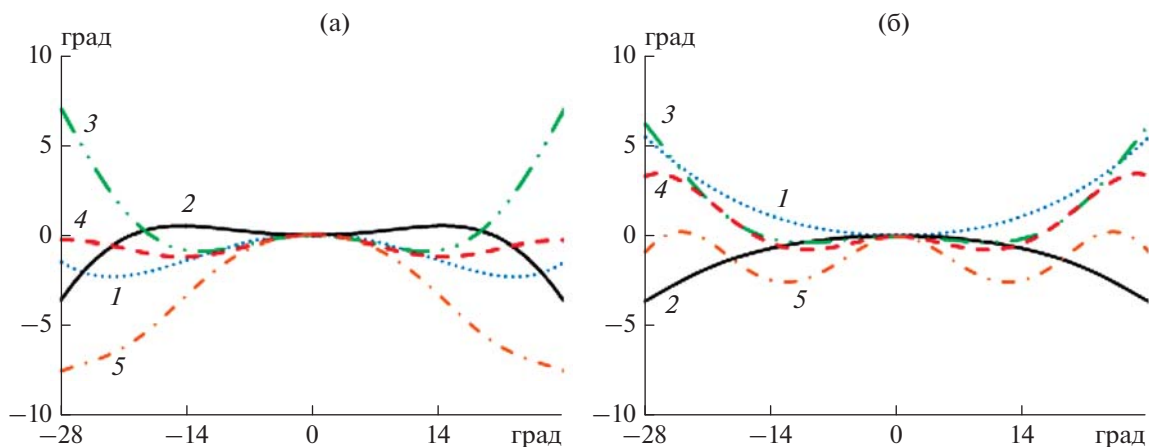


Рис. 6. Фазовые диаграммы направленности в Е- (а) и Н-плоскостях (б) на частотах 7 (1), 9 (2), 11.5 (3), 14 (4) и 16.3 ГГц (5).

1. Предложенный и исследованный рупорный облучатель согласован со входом круглого волновода по уровню отражения ниже -15 дБ в полосе частот 7.3...16.3 ГГц.

2. Уровень для угла 28° диаграммы направленности рупорного облучателя в полосе частот 7–16.3 ГГц меняется в пределах $-10...-15$ дБ, при этом неравномерность фазовой диаграммы направленности – не более 7° .

Таким образом, рабочая полоса частот рупорного облучателя 7.3...16.3 ГГц (76%).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках государственного задания по теме 0030-2019-006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Весник М.В., Калошин В.А.* // Журн. радиоэлектроники. 2001. № 2. <http://jre.cplire.ru/jre/feb01/4/text.html>.
2. *Dubrovka F.F., Dubrovka R.F., Ovsianyk Y.A.* // Proc. 6th Int. Conf. Antenna Theory and Techniques. Sevastopol. 17–21 Sep. 2007. N.Y.: IEEE, 2007. P. 398.
3. *Olsson R., Kildal P.S., Weinreb S.* // IEEE Trans. 2006. V. AP-54. № 2. P. 368.
4. *Yang J., Pantaleev M., Kildal P. et al.* // IEEE Trans. 2011. V. AP-59. № 6. P. 1918.
5. *Akgiray A., Weinreb S., Imbriale W.A.* // Proc. 2011 IEEE Int. Symp. on Antennas and Propagation (APSURSI). Spokane. 3–8 Jul. N.Y.: IEEE, 2011. P. 1135.
6. *Akgiray A., Weinreb S., Imbriale W.A., Beaudoin C.* // IEEE Trans. 2013. V. AP-61. № 3. P. 1099.
7. *Dong B., Yang J., Dahlström J. et al.* // IEEE Trans. 2019. V. AP-67. № 1. P. 585.