

СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫЙ ОБЛУЧАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ
ПОЛИГОНАЛЬНОГО МИКРОПОЛОСКОВОГО РУПОРА
ДЛЯ ПЛАНАРНЫХ МНОГОЛУЧЕВЫХ АНТЕНН© 2019 г. Н. А. Богатых¹, Г. Г. Грачев¹, В. А. Калошин¹, *¹Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Российская Федерация, 12500 Москва, ул. Моховая, 11, стр. 7

*E-mail: vak@cplire.ru

Поступила в редакцию 18.12.2017 г.

После доработки 18.12.2017 г.

Принята к публикации 25.12.2017 г.

С использованием приближенной численно-аналитической теории и метода конечных элементов проведено численное моделирование и оптимизация параметров линейного и полигонального микрополоскового рупора с целью стабилизации ширины диаграммы направленности и положения фазового центра в сверхширокой полосе частот. Для линейного рупора реализована стабильная ширина диаграммы направленности и положение фазового центра в полосе частот 1 : 2.5, а для полигонального рупора – в полосе 1 : 4.

DOI: 10.1134/S0033849419010029

Линейный микрополосковый рупор представляет собой линейно расширяющуюся микрополосковую линию (МПЛ). Такие рупоры широко используются в качестве плавного перехода между МПЛ с различной шириной полоска как согласующие элементы для печатных линз Ротмана [1], а также как облучатели планарных линз и зеркал [1–3].

Исследуемая геометрия линейного рупора представлена на рис. 1. При использовании в качестве облучателя микрополосковый рупор излучает в плоский волновод (ПВ). Полигональным будем называть микрополосковый рупор, представляющий собой нерегулярную МПЛ, провод-

ник которой имеет форму многоугольника. Исследуемая геометрия полигонального рупора показана на рис. 2. Рупор содержит три неравные по длине продольные секции, каждая из которых облучает своим углом раствора, $\alpha_{1,2,3}$ соответственно. Следует отметить, что полигональные рупоры также могут использоваться в качестве линейно-ломаного перехода между МПЛ с различной шириной полоска [4].

Сначала с использованием развитой ранее численно-аналитической теории [5] проведем исследование характеристик излучения и оптимизацию параметров линейного рупора. Асимптотическое

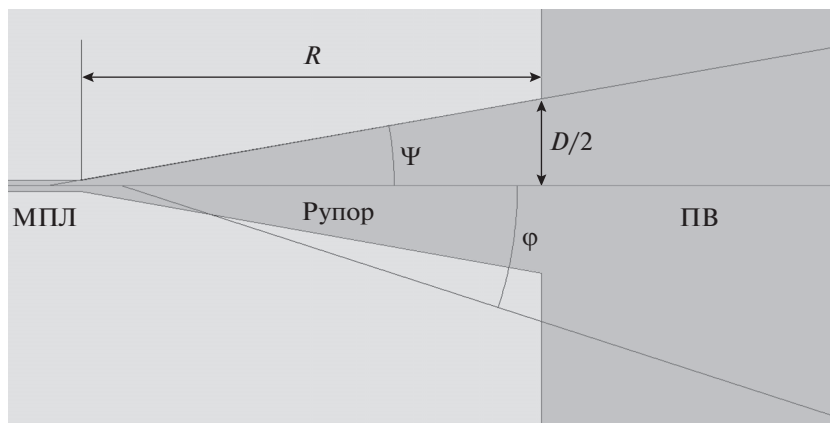


Рис. 1. Линейный микрополосковый рупор.

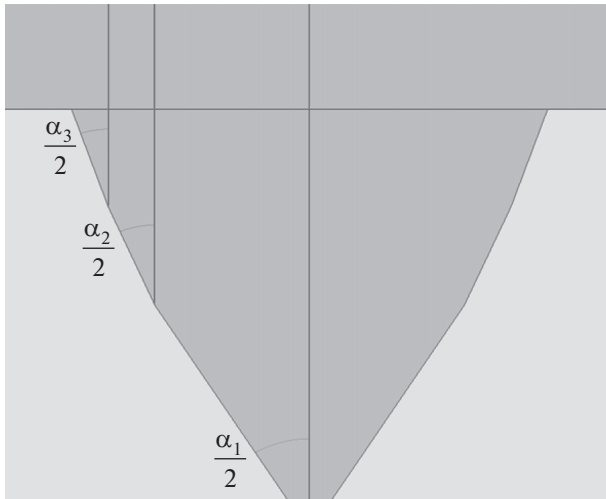


Рис. 2. Полигональный микрополосковый рупор.

выражение для нормированной диаграммы направленности рупора имеет вид

$$F(\varphi) = D(\varphi)/D(0), \tag{1}$$

где

$$D(\varphi) = \exp(G)[F(x_1) - F(x_2)],$$

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{\pi i}} \int_{-\infty}^z \exp(it^2) dt, \quad G = ikR(1 - \cos \varphi),$$

$$x_1 = \sqrt{2kl} \sin \frac{\varphi - \Psi}{2}; \quad x_2 = -\sqrt{2kl} \sin \frac{\varphi + \Psi}{2}, \\ l = R/\cos \Psi,$$

$k = 2\pi/\lambda$ ($\lambda = \lambda_0/\sqrt{\epsilon}$ – длина волны в диэлектрике, λ_0 – длина волны в свободном пространстве), остальные обозначения понятны из рис. 1.

Расчеты диаграммы направленности, проведенные по формуле (1) для различных углов раствора 2Ψ , показали, что частотная стабильность ширины главного лепестка увеличивается с ростом апертуры и величины угла раствора 2Ψ , а стабильность фазовых диаграмм, наоборот, уменьшается. Нормированные амплитудные диаграммы направленности для угла $\Psi = 25^\circ$ и апертуры размером $D = 28.6$ мм на пяти частотах показаны на рис. 3а. К сожалению, фазовые диаграммы этого рупора сильно зависят от частоты (рис. 3б).

Как показали дальнейшие исследования, стабилизировать фазовую диаграмму можно, уменьшая электрический размер апертуры рупора, а ширину луча, – увеличивая угол раствора. На рис. 4а для частот $f = 20, 30, 40, 50, 60$ ГГц показаны амплитудные диаграммы направленности рупора с углом $\Psi = 37^\circ$ и апертурой $D = 11.5$ мм, рассчитанные методом конечных элементов, а на рис. 4б – соответствующие фазовые диаграммы этого рупо-

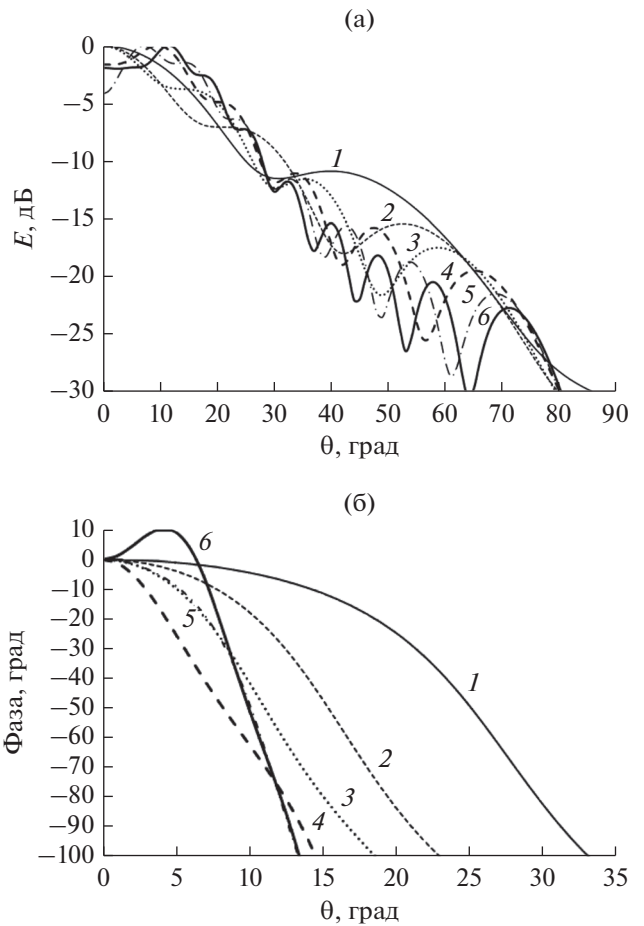


Рис. 3. Амплитудные (а) и фазовые (б) диаграммы направленности линейного рупора с углом раствора $2\Psi = 50^\circ$ и апертурой $D = 28.6$ мм при $f = 10$ (1), 15 (2), 20 (3), 30 (4), 40 (5) и 50 ГГц (6).

ра с фазовым центром, смещенным от апертуры вглубь рупора на 14 мм. Как видно на рис. 4б, уровень нормированной диаграммы направленности для угла $\varphi = 25^\circ$ в полосе частот 20...50 ГГц меняется от -10 до -15 дБ, что близко к оптимальным значениям уровня облучения кромки зеркала или линзы. При этом соответствующие фазовые диаграммы (см. рис. 4б) для углов φ менее 25° меняются в пределах $\pm 30^\circ$.

Затем, также с использованием метода конечных элементов, были проведены исследование и оптимизация параметров полигональных микрополосковых рупоров. В качестве первого приближения использовали линейный рупор с параметрами, оптимизированными выше. В результате численного моделирования и оптимизации параметров были найдены длины секций: первой – 7.5 мм, двух других – 3.8 мм; и величины углов $\alpha_1 = 64^\circ$, $\alpha_2 = 47^\circ$, $\alpha_3 = 38^\circ$, обеспечивающие стабильную амплитудную и фазовую диаграмму направлен-

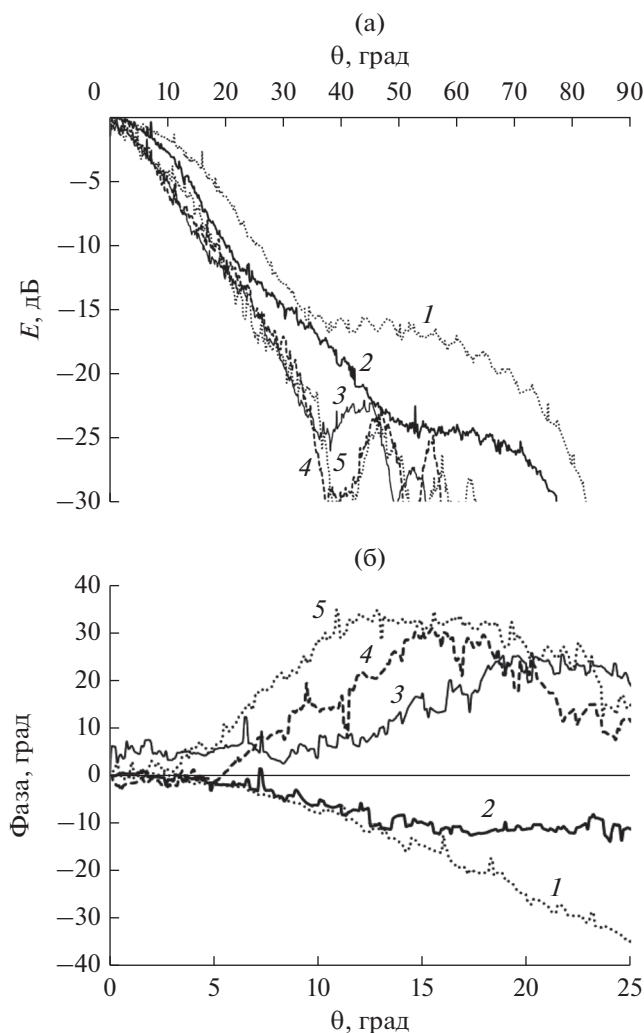


Рис. 4. Амплитудные (а) и фазовые (б) диаграммы направленности линейного рупора с углом раствора $2\Psi = 74^\circ$ и апертурой $D = 11.5$ мм при $f = 20$ (1), 30 (2), 40 (3), 50 (4) и 60 ГГц (5).

ности. На рис. 5а показаны амплитудные диаграммы направленности полигонального рупора, а на рис. 5б – фазовые диаграммы этого рупора с фазовым центром, смещенным от апертуры вглубь рупора на 17 мм. Как видно на рис. 5а, уровень нормированной диаграммы направленности для угла $\varphi = 25^\circ$ в полосе частот 15...60 ГГц меняется от -9 до -11 дБ, что близко к оптимальным значениям уровня облучения кромки зеркала или линзы, а изменения фазовой диаграммы (см. рис. 5б) при углах φ менее 25° лежат в пределах $\pm 30^\circ$.

Таким образом, в работе показана возможность реализации полосы рабочих частот $1 : 2.5$ для облучателя в виде линейного микрополоскового рупора и полосы $1 : 4$ – для облучателя в виде полигонального микрополоскового рупора.

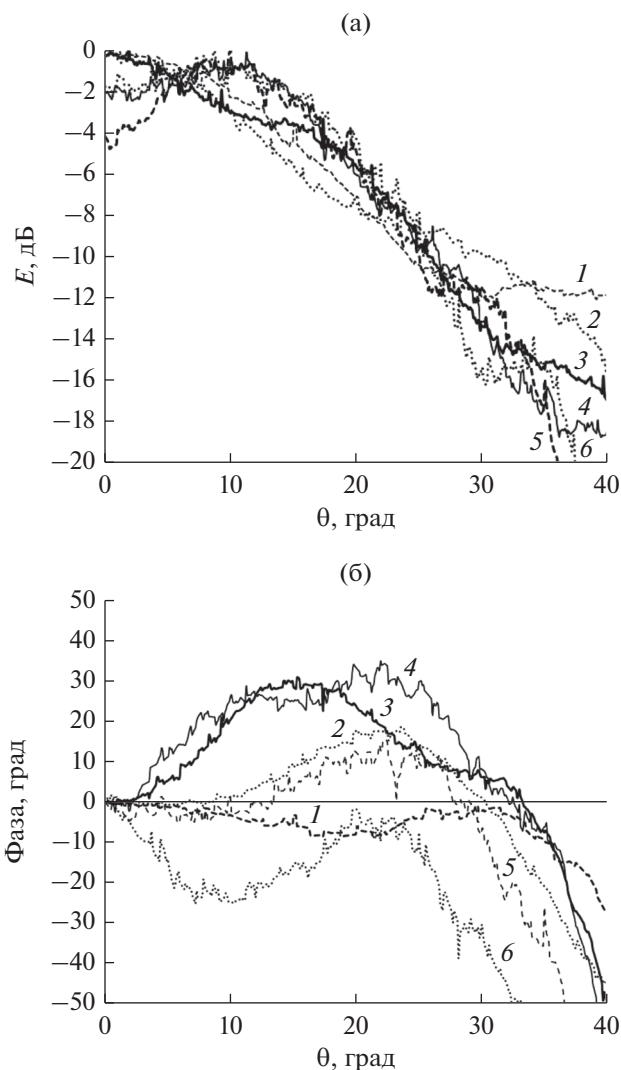


Рис. 5. Амплитудные (а) и фазовые (б) диаграммы направленности полигонального рупора с апертурой $D = 16.7$ мм при $f = 15$ (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 50 (5) и 60 ГГц (6).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-07797).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Darvazehban A., Manoochehri O., Salari M.A. et al. // IEEE Trans. 2017. V. MTT-65. № 9. P. 3435.
2. Банков С.Е., Дупленкова М.Д., Фролова Е.В. // РЭ. 2014. Т. 59. № 10. С. 1010.
3. Банков С.Е., Фролова Е.В. // РЭ. 2017. Т. 62. № 5. С. 463.
4. Осипов О.В., Панин Д.Н., Никушин А.В. // Письма в ЖТФ. 2013. Т. 39. № 12. С. 50.
5. Банков С.Е., Грачев Г.Г., Калошин В.А. // Журн. радиоэлектроники. 2017. № 4 (<http://jre.cplire.ru/jre/apr17/6/text.pdf>).