

УДК 621.396.673

Е.В. БАЛЗОВСКИЙ\*, А.В. КАНТЫШЕВ\*\*, С.В. ПОЛЕНГА\*\*\*, И.В. РОМАНОВ\*

**ПЕЧАТНАЯ ЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ С РЕФЛЕКТОРОМ**

Разработана и исследована печатная щелевая антенна круговой поляризации. Антенна состоит из активного и пассивного элементов одинаковой топологии. Элементы расположены параллельно на расстоянии 30 мм друг от друга. Антенна согласована с фидером в полосе частот 1,94-3,5 ГГц. Максимум излучения перпендикулярен плоскости антенны, ширина диаграммы направленности равна 73,4 градуса и 75 градусов в двух перпендикулярных плоскостях. Коэффициент эллиптичности достигает значения 0,95 на частоте 2,4 ГГц, в полосе от 2,1 ГГц до 3 ГГц значение коэффициента эллиптичности более 0,7.

**Ключевые слова:** печатная антенна, щелевая антенна, круговая поляризация

**Введение**

Печатные щелевые антенны хорошо зарекомендовали себя благодаря своим широкополосным свойствам, а также малым габаритам и простотой изготовления. Они находят широкое применение в беспроводных сетях, таких как Wi-Fi, Wi-MAX и т.д. Особенностью щелевых печатных антенн является излучение в двух направлениях. Однако, для решения ряда технических задач необходимо излучение круговой поляризации в одной полуплоскости. Для этой цели возможно использование рефлектора, который отстоит от антенны на расстоянии равном приблизительно четверти длины волны. Недостатком такого метода является узкая полоса, в которой антенна сохраняет свои поляризационные свойства [1]. Для уменьшения интенсивности излучения в обратном направлении, необходимо использовать рефлектор. Принцип работы рефлекторов для вибраторных антенн широко известен и достаточно освещен в литературе [2]. Этот же принцип предлагается использовать для уменьшения обратного излучения для щелевой антенны. В данной работе предлагается использовать в качестве рефлектора пассивный элемент, геометрия электродов которого такая же, как у элемента, к которому подсоединена фидерная линия. Подбор оптимального расстояния между активным и пассивным элементами, а также поворот пассивного элемента позволяют расширить полосу частот, в которой антенна согласована с фидером и имеет поляризацию излучения, близкую к круговой.

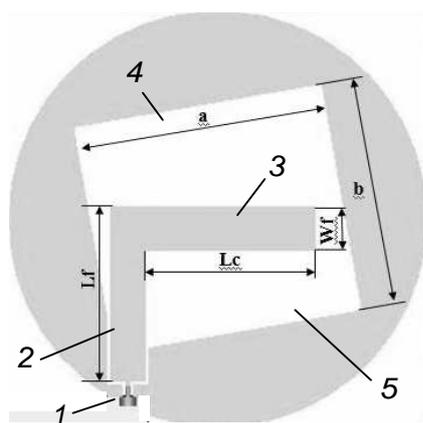
**Печатная щелевая антенна без рефлектора**

Рис. 1 Геометрия щелевой антенны:  
 $a = 51,6$  мм,  $b = 47,4$  мм,  $L = 86$  мм,  
 $L_f = 28$  мм,  $W_f = 7,2$  мм

Антенна выполнена печатным способом на одностороннем фольгированном диэлектрике ПЭТ с относительной диэлектрической проницаемостью 3 и толщиной 1,27 мм. Геометрия электродов антенны приведена на рис. 1. В точке 1 антенна подключается к коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом, переходящей в копланарную линию 2. Возбудитель 3 наводит токи на кромках щелевых линий 4 и 5. Соотношение размеров  $a$  и  $b$ , длины отрезка копланарной линии  $L_f$ , длины возбуждителя  $L_c$ , а также угла поворота щелей относительно возбуждителя, определяет амплитудно-фазовые распределения токов на излучающих кромках щелевых линий, следовательно, изменяя эти соотношения, можно управлять излучающими свойствами антенны.

В результате численного моделирования найдена оптимальная геометрия электродов антенны, результаты моделирования приведены на рис. 2 и 3. На рис. 2 (кривая 1) представлены результаты расчета модуля коэффициента отражения. По уровню -10 дБ антенна согласована с фидером в диапазоне от 1,65 ГГц до 3,5 ГГц, относительная полоса пропускания при этом составляет 58%.

Измерения направленных и поляризационных характеристик антенны проводились в безэховой камере, с помощью аппаратно-программного комплекса (Сибирский Федеральный Универси-

тет) [2]. Измерения коэффициента отражения проводились при помощи измерителя модуля коэффициента передачи и отражения Р2М-18 (Микран).

Результаты измерения модуля коэффициента отражения приведены на рис. 2 (кривая 2). Полоса согласования составляет свыше 1,35 ГГц (от 1,65 ГГц до более 3 ГГц).

Результаты расчетов и измерений коэффициента эллиптичности излучения антенны приведены на рис. 3. Вблизи частоты 2,5 ГГц коэффициент эллиптичности имеет максимум как в расчете, так и в эксперименте. Полоса частот, в которой измеренный коэффициент эллиптичности имеет значение более 0,7 равна 1,8-2,9 ГГц.

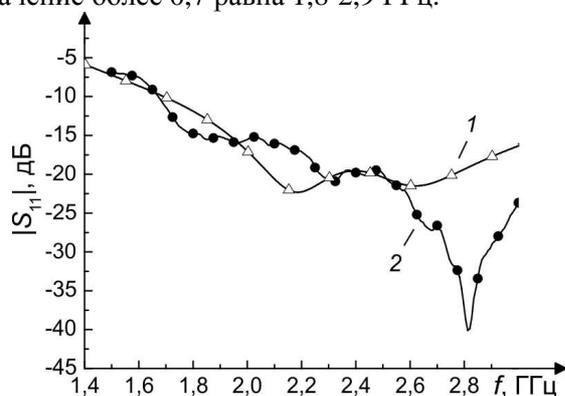


Рис. 2 Модуль коэффициента отражения антенны без рефлектора. 1 – расчет, 2 – измерения.

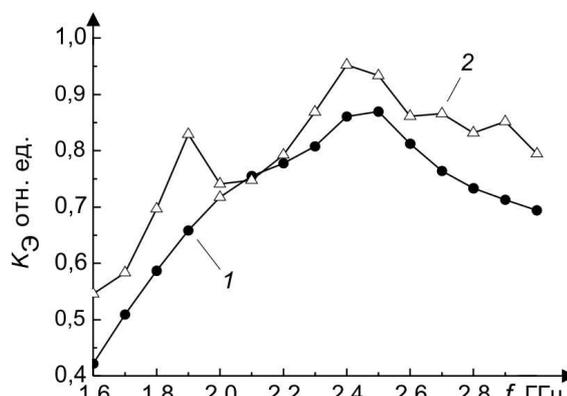


Рис. 3 Коэффициент эллиптичности вдоль оси излучения антенны без рефлектора. 1 – расчет, 2 – измерения.

Анализ измеренных и расчетных значений коэффициента эллиптичности показывает, что антенна обеспечивает работу в полосе частот от 1,8 ГГц до частот свыше 3 ГГц, что совпадает с рабочей полосой по обратным потерям. Поляризационные характеристики несколько превосходят ожидаемые.

Для анализа направленных свойств антенны выбраны две плоскости, в которых проводился расчет и измерения диаграмм направленности (ДН) антенны. Плоскость 0 перпендикулярна листу диэлектрика и параллельна участку фидерной линии 3 на рис. 1. Плоскость 90 перпендикулярна листу диэлектрика и плоскости 1. Плоскости 0 и 90 показаны на рисунке 4

На рис. 5 представлены результаты расчёта печатной щелевой антенны без рефлектора в плоскостях 0 и 90 на частоте 2,4 ГГц. Антенна излучает в обе стороны от листа диэлектрика, ширина ДН (ШДН) составляет 172 градуса в плоскости 0 и 173 градусов в плоскости 90. Коэффициент направленного действия антенны равен 3,98 дБ.

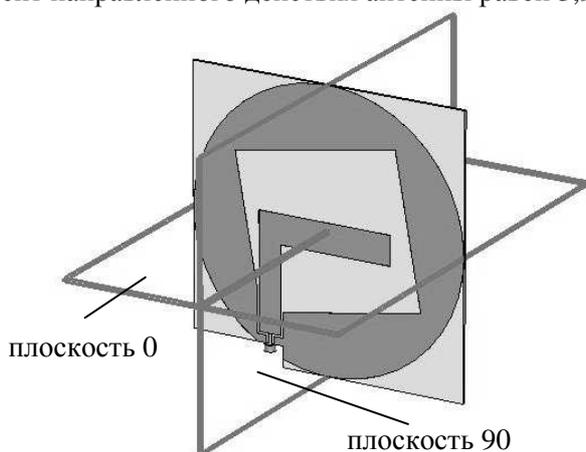


Рис. 4. Плоскости измерения антенны

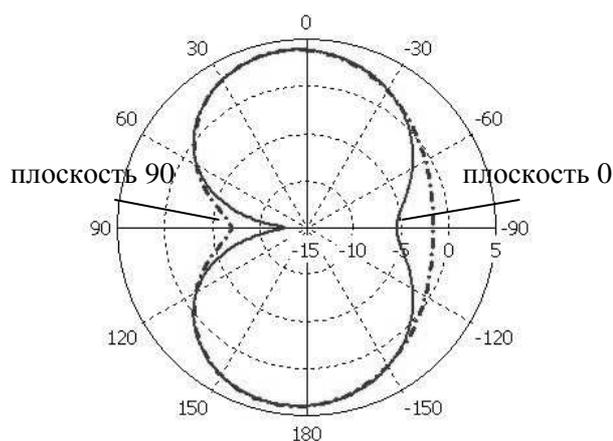


Рис. 5. Диаграмма направленности антенны с рефлектором на частоте  $f = 2,4$  ГГц:

### Печатная щелевая антенна с рефлектором

Топология рефлектора аналогична топологии активного элемента антенны. Расстояние между пассивным и активным элементами равно 30 мм, что соответствует четверти длины волны на час-

тоте 2,5 ГГц. Рефлектор является пассивным: токи на нем наводятся электромагнитным полем. В точке подсоединения фидерной линии рефлектор закорочен. Размеры и взаимное расположение щелевой антенны и рефлектора выбираются таким образом, чтобы их поля складывались с одинаковыми фазами в прямом направлении и в противофазе – в обратном.

Вид антенны с рефлектором приведен на рисунке 6. Управление фазой возбуждения пассивного элемента осуществляется путем его вращения вокруг своей оси. В ходе численного моделирования установлено, что оптимальным углом поворота пассивного элемента относительно активного элемента является угол 155 градусов.

Результаты расчета модуля коэффициента отражения антенны приведены на рисунке 7 (кривая 1). По уровню -10 дБ антенна согласована с фидером в диапазоне от 1,94 ГГц до 3,5 ГГц, относительная полоса пропускания при этом составляет 57%.

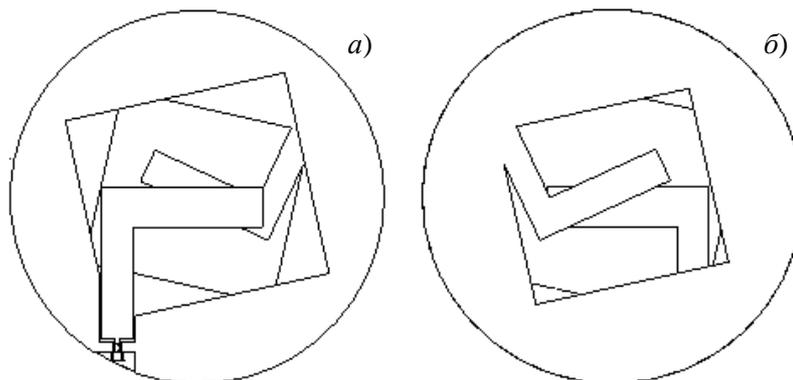


Рис. 6 Антенна с рефлектором, вид спереди (а), вид сзади (б).

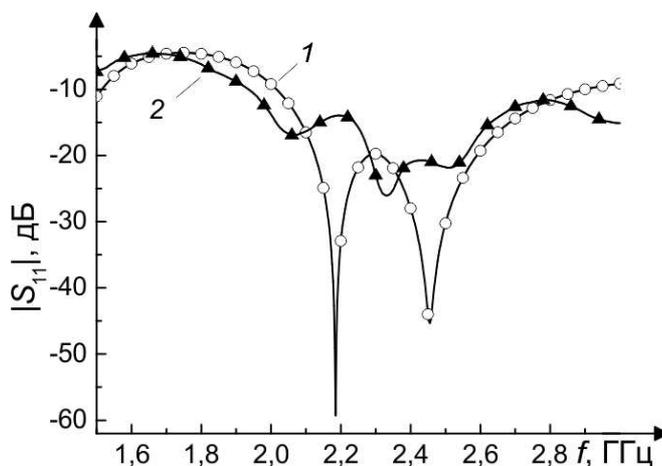


Рис. 7 Модуль коэффициента отражения антенны с рефлектором. 1 – расчет, 2 – измерения.

Результаты расчетов и измерений частотной зависимости коэффициента эллиптичности антенны с рефлектором приведены на рис. 8. В полосе частот от 2,1 ГГц до 2,8 ГГц значения измененного коэффициента эллиптичности превышают величину 0,7. На рис. 9 показаны изменения ширины диаграммы направленности в зависимости от частоты для двух плоскостей. Для плоскости **0** ШДН меняется от 52,6 до 92,2 градуса, в то время как для плоскости **90** границы изменений ШДН находятся в пределах 45-83,4 градуса. На рис. 10 представлены результаты измерений печатной щелевой антенны с рефлектором в двух плоскостях на частоте 2,4 ГГц. Максимум излучения антенны направлен в сторону активного элемента, ширина главного максимума ДН составляет 73,4 градуса в плоскости **0** и 75 градусов в плоскости **90**.

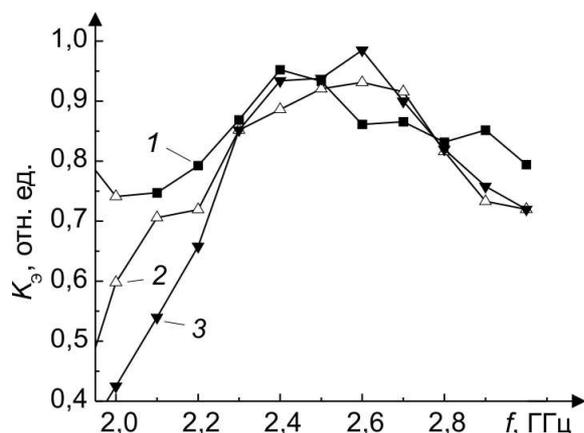


Рис.8 Коэффициент эллиптичности одиночной щелевой антенны и антенны с рефлектором  
1 – антенна без рефлектора (измерения),  
2 – антенна с рефлектором (измерения),  
3 – антенна с рефлектором (расчет)

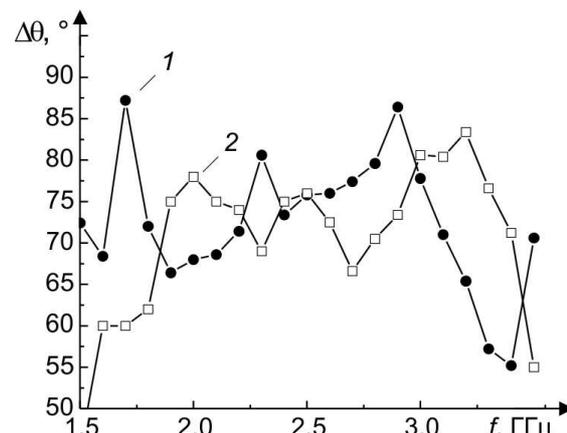


Рис.9 Ширина диаграммы направленности для двух плоскостей  
1 – расчет, 2 – измерения

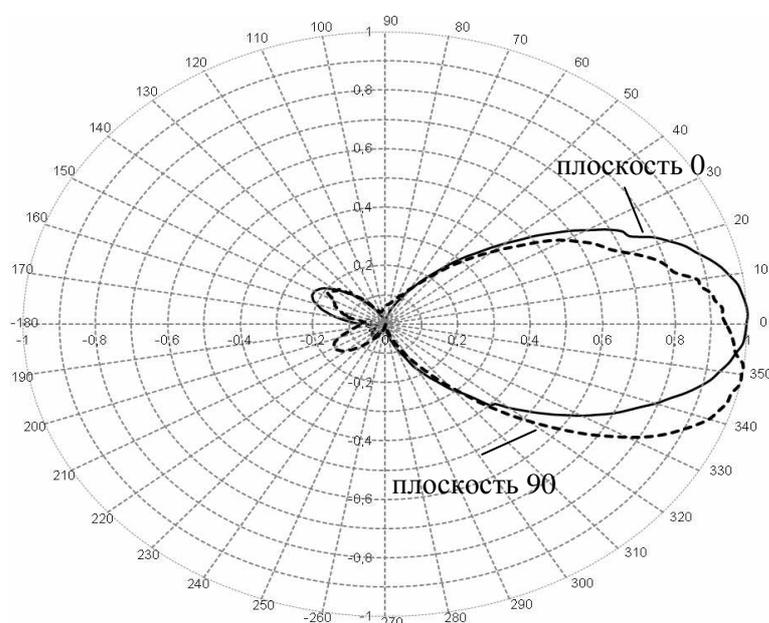


Рис. 9 Диаграмма направленности в двух плоскостях на частоте  $f = 2,4$  ГГц

### Заключение

Разработана и исследована щелевая антенна круговой поляризации, состоящая из двух одинаковых печатных элементов – активного и пассивного, расположенных параллельно друг другу. Полоса согласования антенны по уровню -10 дБ равна 1,94-3,5 ГГц. Максимум излучения перпендикулярен плоскости антенны, ширина диаграммы направленности равна 73,4 градуса и 75 градусов в двух перпендикулярных плоскостях. Коэффициент эллиптичности достигает значения 0,95 на частоте 2,4 ГГц, в полосе от 2,1 ГГц до 3 ГГц значение коэффициента эллиптичности более 0,7.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lau J., Wong H., Luk K. // *IEEE Trans. on Antennas and Prop.* – 2006. – Vol. 54. – No. 2. – P. 741-743.
2. Лемберг К.В., Крылов Р.М., Саломатов Ю.П. Аппаратно-программный комплекс для измерения характеристик направленности антенн в дальней зоне // *Сборник трудов конференции «Излучение и рассеяние электромагнитных волн»* – Таганрог, 2013. – С. 115-117.
3. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ. – Москва: «Связь», 1977. – 384 с.

\* Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия

\*\* АО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнева», г. Железногорск, Россия

\*\*\*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

E-mail: kantAV@sibmail.com, kantAV@iss-reshetnev.ru

Балзовский Евгений Владимирович, к.ф.-м.н., доцент;

Кантышев Алексей Валентинович, инженер-конструктор 2 категории;

Поленга Станислав Владимирович, ассистент;

Романов Илья Владимирович, к.ф.-м.н., младший научный сотрудник.

*E. V. BALZOVSKY\*, A. V. KANTYSHEV \*\*, S. V. POLENGA\*\*\*, I. V. ROMANOV\**

### CIRCULARLY POLARIZED PRINTED SLOT ANTENNA backed by reflector

A new printed slot antenna with circular polarization has been developed and investigated. The antenna consists of an active element and passive element of the same topology. The elements are arranged parallel at a distance 30 mm. Antenna aligned with the feeder in the band from 1,94 GHz to 3,5 GHz. Maximum of radiation pattern is perpendicular to the plane of the antenna, the beamwidth is 73,4 degrees and 75 degrees in two orthogonal planes. Axial ratio reaches a value of 0.95 at 2.4 GHz. Axial ratio is great than 0.7 in the frequency band of 2.1-3 GHz.

**Keywords:** *printed antenna, slot antenna, circular polarization*

## REFERENCES

1. Lau J., Wong H., Luk K., A Full-Wavelength Circularly Polarized Slot Antenna, *IEEE Trans. on Antennas and Prop.*, 2006, vol. 54, no. 2, pp.741-743.
2. Lemberg K.V., Krylov R.M., Salomatov Y.P. Apparato-programmnyy kompleks dlya izmereniya harakteristik napravlenosti antenn v dalney zone // *Sbornik trudov konferentsii "Izlučenje i rasseyanie elektromagnitnyh voln"* – Taganrog, 2013. – p. 115-117.
3. Ayzenberg G.Z., Yampolsky V.G., Tereshin O.N. Antennы UKV, Moskva, "Svyaz", 1977.

\* National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

\*\* JSC Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems, Zheleznogorsk, Russia

\*\*\* Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: kantAV@sibmail.com, kantAV@iss-reshetnev.ru

Balzovsky Evgeny Vladimirovich, Assoc. Prof., PhD;

Kantyshev Alexey Valentinovich, Engineer-Designer;

Polenga Stanislav Vladimirovich, Assistant;

Romanov Ilya Vladimirovich, Junior Researcher, PhD.