

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ С ЦИКЛИЧНЫМ ФАЗОВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НА ЭЛЕМЕНТАХ

А. А. Бабаскин¹, В. И. Калинин²

¹RF Mtech, Сеул, Юж. Корея

²Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН

Статья получена 24 февраля 2014 г.

Аннотация. Предложена и промоделирована двухпортовая двухполяризационная патчевая антенна как элемент кольцевой антенной решетки. Представлены частотная и радиационная характеристики. Проведено моделирование 9-элементной кольцевой антенной решетки с циклическим распределением фазы на элементах. Рассмотрены характеристики излучения для мод с разным орбитальным угловым моментом. Показано, что направление излучения по углу места изменяется в сравнительно широких пределах в зависимости от номера моды и скорости вращения фазы вдоль решетки. Отмечается возможность использования этого эффекта для сканирования вихреобразным лучом в полупространстве.

Ключевые слова: патчевая антенна, кольцевая антенная решетка, орбитальный угловой момент, вихреобразный луч, сканирование по углу места.

Abstract. Two-port two-polarized patch antenna design is proposed and modeled as an element of a circular antenna array. Frequency and radiation characteristics of such antenna are obtained. Nine-element circular antenna array with cyclic phase distribution on the patch elements is modeled. Radiation characteristics of modes with different orbital angular momentum are considered. It is shown that the direction of radiation in the elevation changes in a relatively wide angular range depending on the mode number and speed of phase rotation along the array. Possibility of use of this effect for scanning by a vortex beam in hemisphere is noted.

Keywords: patch antenna, circular antenna array, orbital angular momentum, vortex-like beam, scanning in hemisphere.

Введение

В данной работе рассмотрено излучение кольцевой антенной решетки (КАР) при циклическом изменении фазы на ее элементах. Такие режимы излучения КАР изучались ранее в ряде публикаций (см., например, [1-3]), где они назывались модами с орбитальным угловым моментом (Orbital Angular Momentum (ОАМ)). В данной работе будем использовать этот принятый в англоязычной литературе термин. Было показано, в частности, что диаграммы излучения на высших ОАМ модах имеют форму вихря. Фазовый фронт таких мод не является плоским, а имеет вид спирали. В КАР, состоящей из N элементов, существует K независимых ОАМ состояний, где максимальный номер $|K| < N/2$. Было предложено использовать эти ОАМ моды для увеличения пропускной способности в беспроводных ММО (Multiple Input Multiple Output) системах связи. Представляет интерес также рассмотреть такие режимы излучения КАР и с точки зрения возможности сканирования в полупространстве путем отклонения луча-воронки от оси решетки на угол, зависящий от номера ОАМ, то есть от скорости вращения фазы в решетке. В представленной работе рассмотрен конкретный вариант двухполяризационной решетки, состоящей из 9 элементов. Предварительно предложена и промоделирована конструкция двухполяризационной патчевой антенны как элемента такой решетки.

2. Двухполяризационная патчевая антенна

Сначала рассмотрим уединенный излучатель решетки в виде патчевой антенны. Модель предложенной конструкции антенны показана на рис.1. Она состоит из двух подложек и рефлектора. Патч расположен на нижней стороне верхней подложки. Микрополосковые 50-омные линии, идущие от портов P1 и P2, расположены на нижней стороне нижней подложки. В металлизации на верхней стороне нижней подложки прорезаны две ортогонально расположенные щелевые апертуры, через которые осуществляется возбуждение антенны. Если возбуждение происходит со стороны порта 1, то излученное

поле имеет поляризацию вдоль оси Y , если возбуждение происходит со стороны порта 2, то излученное поле имеет поляризацию вдоль оси X . На некотором расстоянии от нижней подложки расположен металлический рефлектор, который служит для предотвращения излучения щелевых апертур в нижнее полупространство и для снижения уровня задних лепестков. Подложки имеют одинаковую толщину 1.5 мм и изготовлены из FR-4.

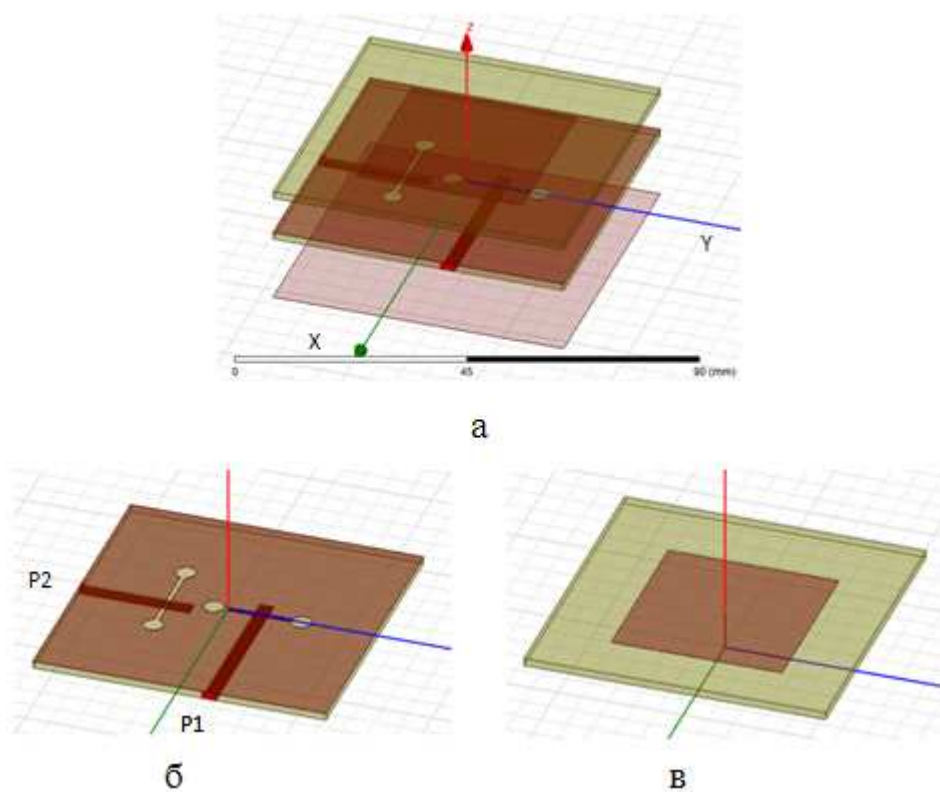


Рис.1. Модель патчевой антенны:

а – дизайн антенны, б – нижняя подложка с щелевыми апертурами в металлизации на верхней стороне и микрополосковыми линиями на нижней, в – верхняя подложка с патчем на нижней стороне

На рис.2, 3 представлены результаты моделирования антенны. На рис.2 показаны частотные характеристики (согласование и взаимная связь портов в диапазоне частот), а на рис.3 - радиационные характеристики для обеих ортогональных поляризаций излучения. Следует отметить высокую развязку портов и коэффициент усиления > 8 дБ на обеих поляризациях.

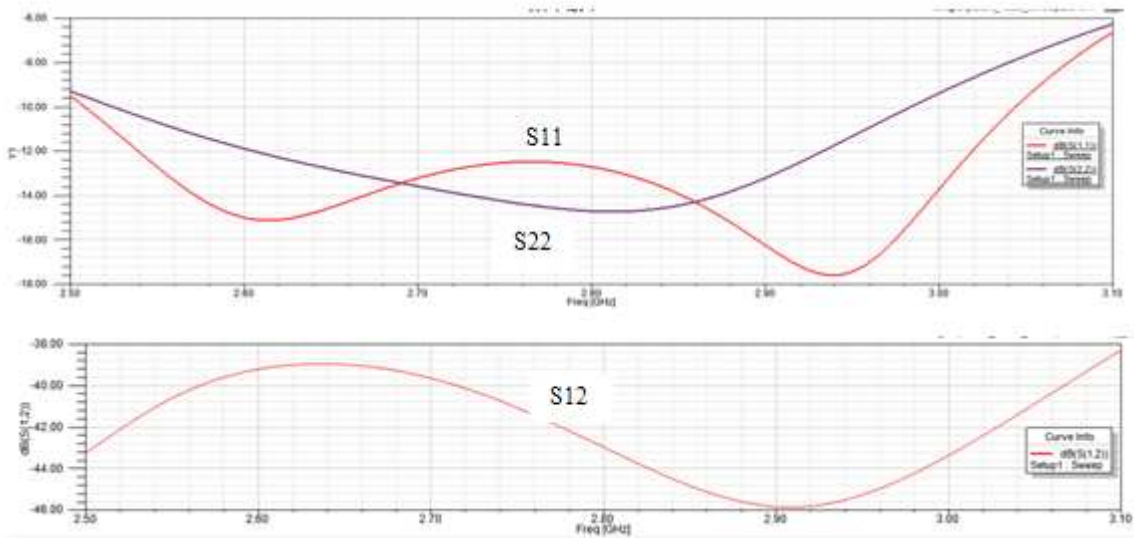


Рис.2. Согласование и изоляция портов антенны на рис. 1

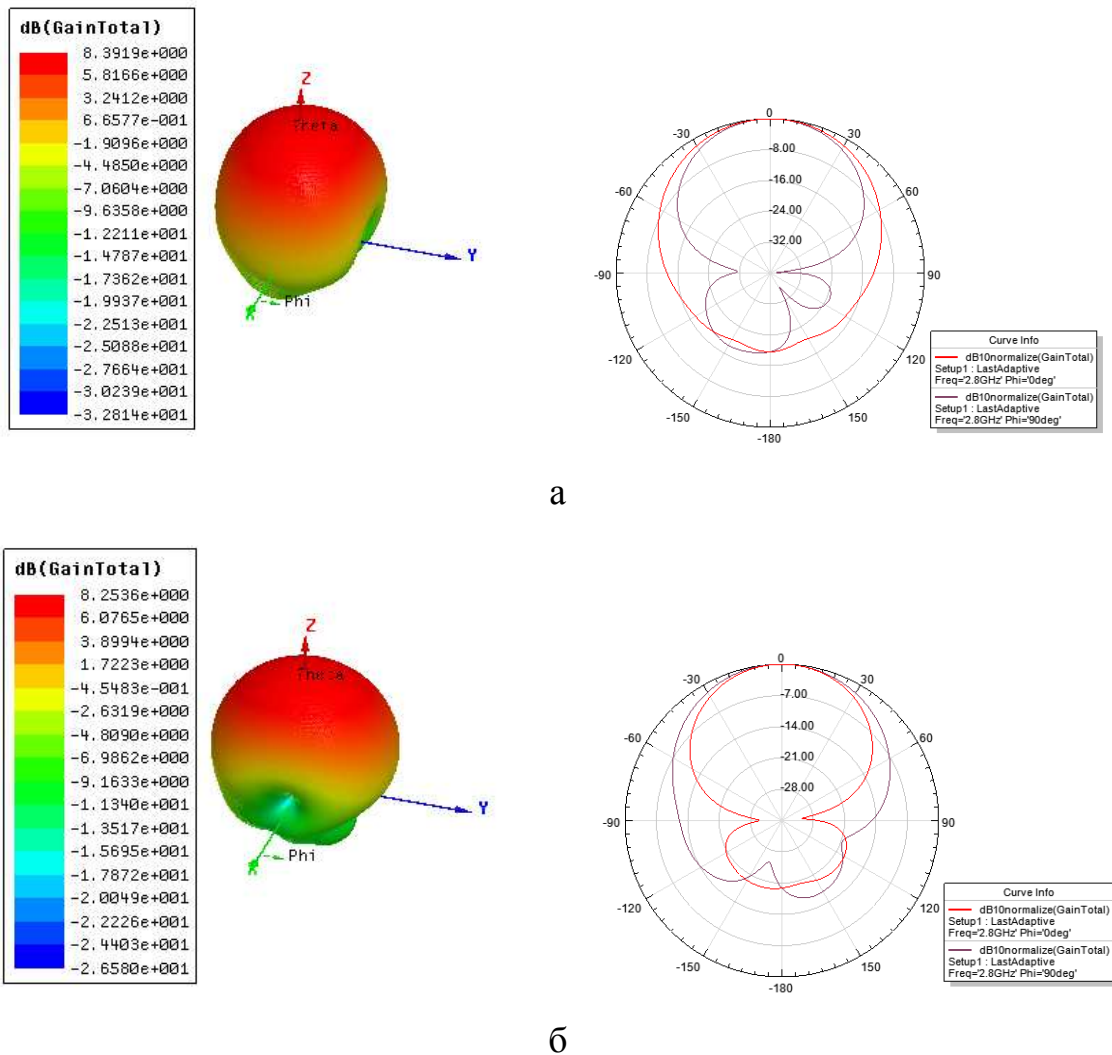


Рис.3. Пространственные диаграммы излучения и их сечения в главных плоскостях на частоте 2.8 ГГц для антенны на рис. 1:

а - при возбуждении порта 1 (поле E вдоль оси Y), б - при возбуждении порта 2 (поле E вдоль оси X)

3. Кольцевая антенная решетка

В данном разделе рассмотрим решетку из 9 антенн, расположенных вдоль окружности радиуса 120 мм, как показано рис. 4. С учетом размера каждой антенны 60x60 мм расстояние между краями решетки составляет 300 мм. Решетка имеет 18 портов: из них нечетные номера соответствуют поляризации вдоль оси Y, а четные - поляризации вдоль оси X.

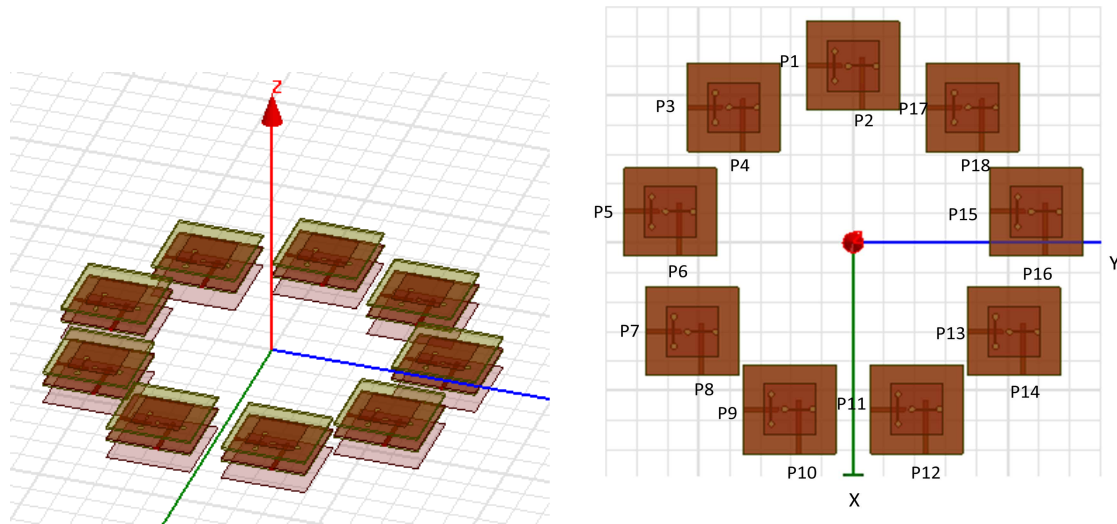


Рис.4. Двухполяризованная кольцевая антенная решетка из 9 элементов и с 18-ю портами

Моделирование решетки проводилось тем же методом, что и уединенной антенны. В первую очередь в этой работе нас интересуют характеристики излучения на различных ОАМ модах, генерируемых при циклическом изменении фазы на элементах решетки, при котором полный набег фазы на длине решетки кратен 2π . При этом степень кратности определяется номером ОАМ моды.

Сначала были рассчитаны частотные характеристики решетки, которые показывают, что взаимная связь элементов даже при такой достаточно плотной упаковке не превышает -24...-25 дБ. В качестве иллюстрации на рис.5 приведены рассчитанные коэффициенты взаимной связи портов одинаковой поляризации с нечетными номерами S_{1j} (где j нечетное) в предположении, что решетка возбуждается со стороны порта 1. Максимальная взаимная связь, как и ожидалось, имеет место между портами одинаковой поляризации у смежных

элементов ($S_{1,3}$ и $S_{1,17}$ в данном случае, см. рис. 4). Из рис.5 видно, что она также не превышает -25 дБ в рабочем диапазоне частот.

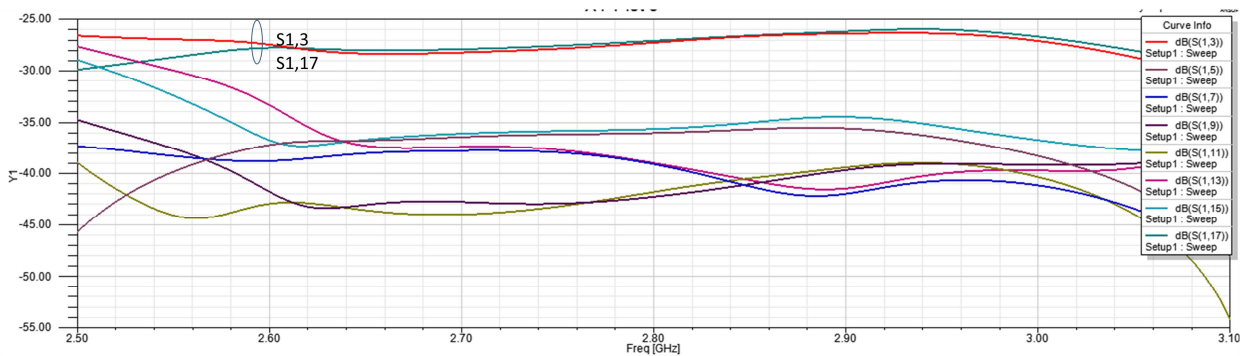


Рис.5. Развязка между портами с нечетными номерами при возбуждении порта 1

При слабой связи элементы в решетке практически изолированы друг от друга, и согласование портов в решетке сохраняется примерно таким же, как и для уединенного элемента. На рис.6 показаны коэффициенты отражения S_{jj} , $j=1-18$ для всех 18-ти портов в решетке, четных и нечетных, которые имеют тот же характер, что и характеристики согласования уединенного элемента на рис. 2. Некоторый разброс в кривых обусловлен слабой связью между элементами.

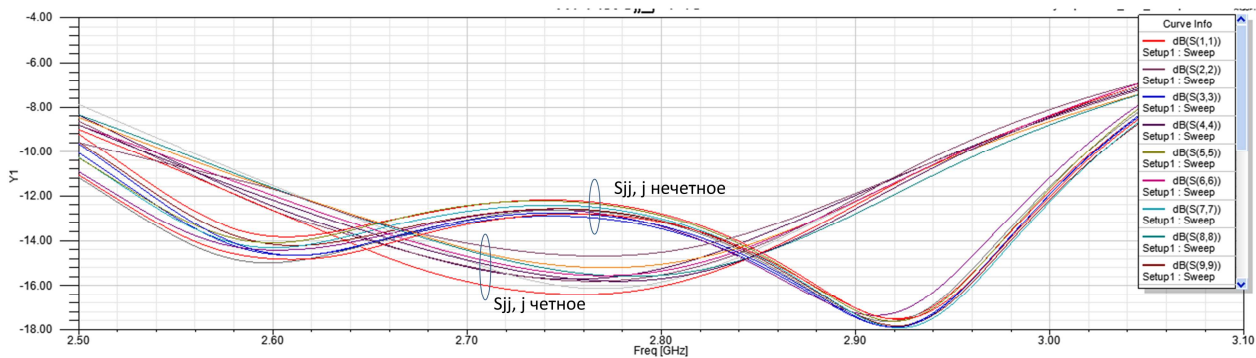


Рис.6. Согласование портов в решетке

На следующем шаге были рассчитаны диаграммы направленности излучения при нескольких характерных распределениях фазы на излучателях и при условии, что возбуждаются только нечетные порты (поляризация вдоль Y). Синфазное возбуждение с одинаковыми амплитудами на элементах решетки соответствует основной ОАМ моде $K=0$, которая излучает по нормали к

плоскости решетки, с достаточно высоким коэффициентом усиления, как показано на рис.7. Максимальный коэффициент усиления в децибелах вдоль оси решетки примерно равен $10 \cdot \log(N \cdot G1)$, где $N=9$, $G1$ – коэффициент усиления уединенного излучателя (см. рис. 3). На рис. 8-11 показаны диаграммы излучения решетки на ОАМ модах с номерами $K=1-4$, на которых полный набег фазы на длине решетки равен $2\pi K$.

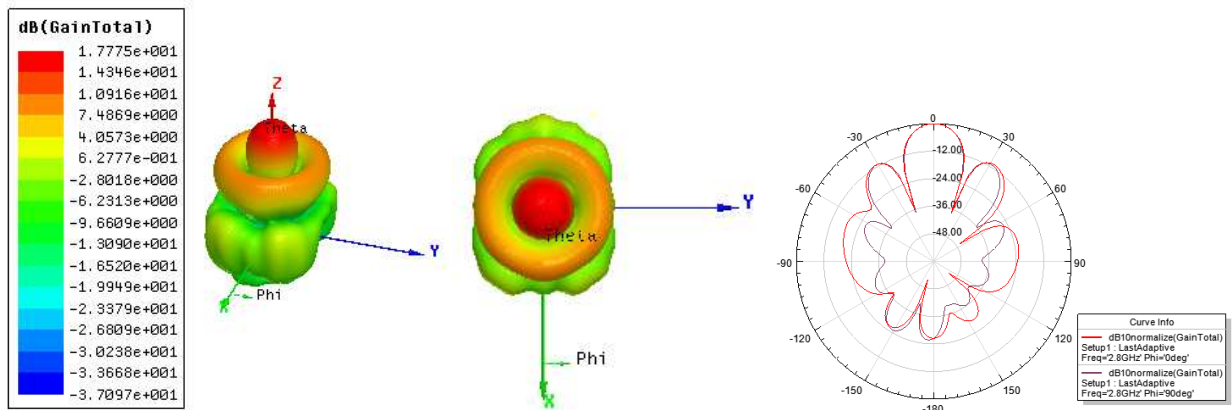


Рис.7. Излучение на основной моде $K=0$. Сдвиг фаз между соседними излучателями 0°

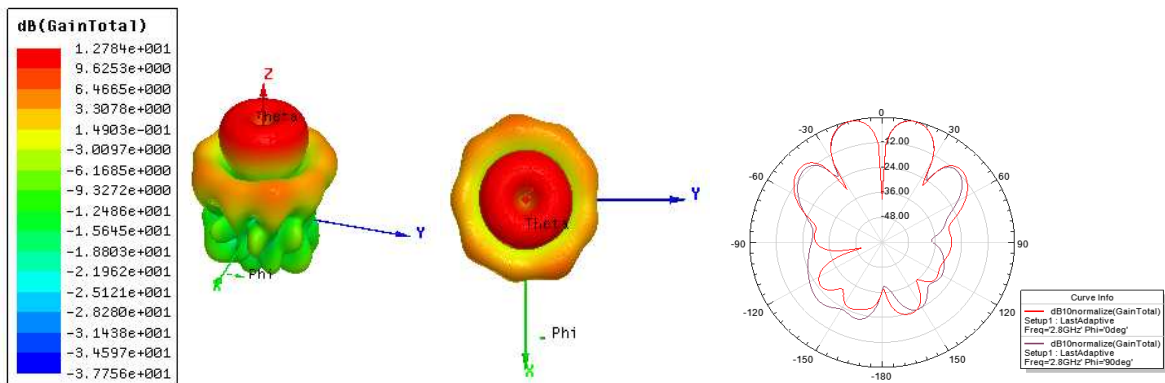


Рис.8. Излучение на ОАМ моде $K=1$. Сдвиг фаз между соседними излучателями 40°

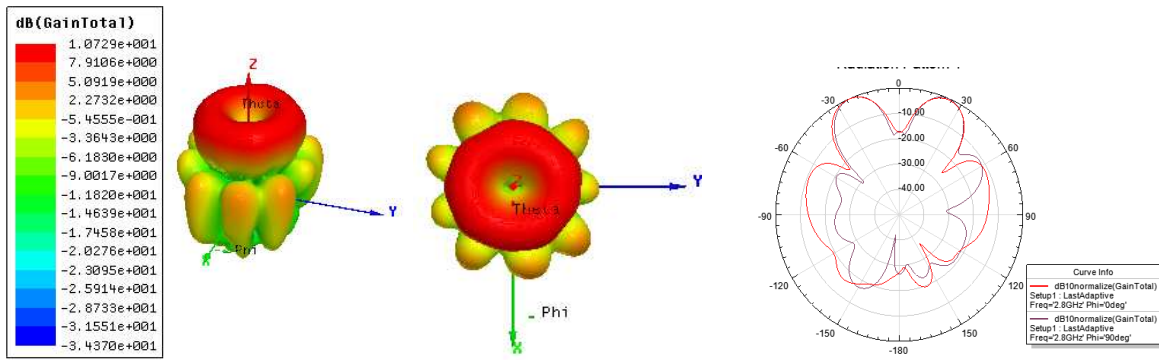


Рис.9. Излучение на ОАМ моде $K=2$. Сдвиг фаз между соседними излучателями 80°

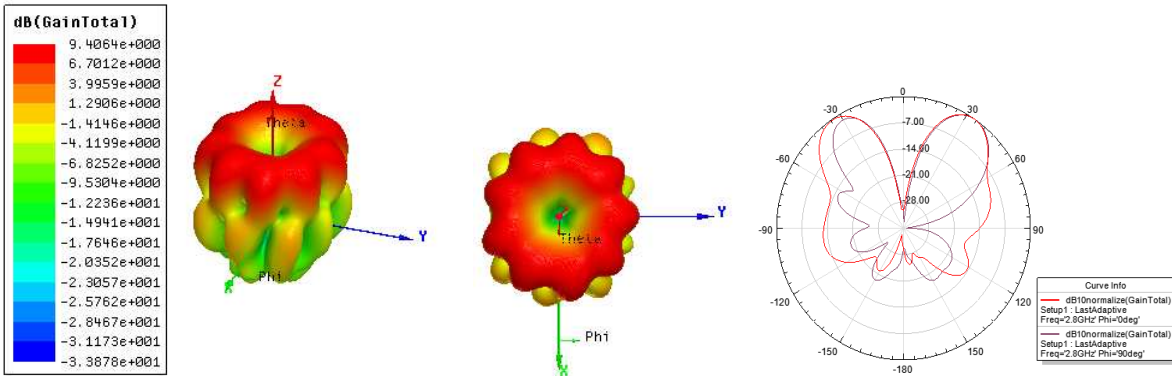


Рис.10. Излучение на ОАМ моде $K=3$. Сдвиг фаз между соседними излучателями 120°

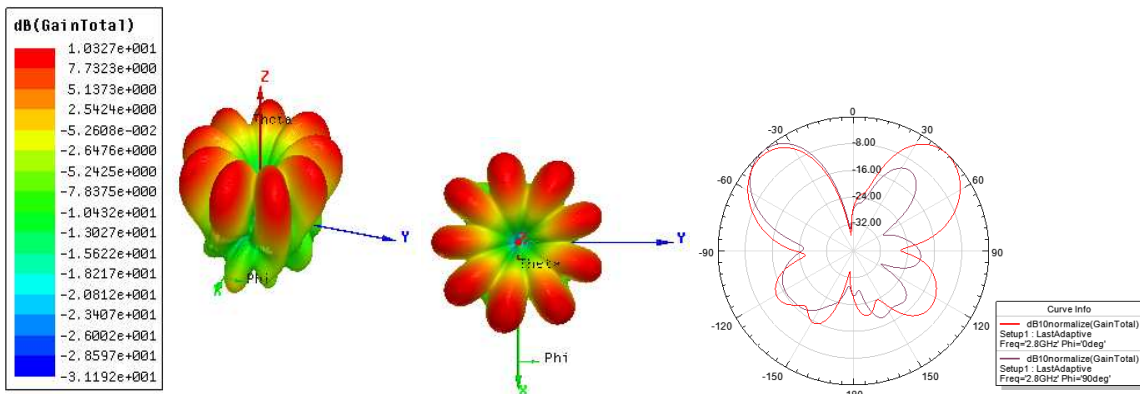


Рис.11. Излучение на ОАМ моде $K=4$. Сдвиг фаз между соседними излучателями 160°

Из полученных результатов следует, в частности, что для ОАМ мод с номером больше 0 воронкообразный луч отклоняется от оси решетки тем больше, чем выше номер моды. Для данной решетки для моды $K=4$ отклонение составляет примерно 45° (см. рис.11). Это свойство кольцевых решеток на ОАМ модах можно использовать для сканирования луча-воронки по углу места путем изменения фазы на элементах. Кроме того, как было предложено ранее [1], ОАМ моды с разными номерами и с разным знаком одного номера можно использовать как независимые каналы для передачи информационных сигналов и тем самым для увеличения пропускной способности в ММО системах связи. Для данной двухполяризационной решетки с высокой развязкой и низкой корреляцией портов общее число независимых каналов передачи информации на ОАМ модах может составить 18, по 9 каналов на каждой из ортогональных поляризаций. Следует, однако, иметь в виду, что связь на высших ОАМ модах может осуществляться только на сравнительно коротких расстояниях между передатчиком и приемником (short range communications) и в пределах прямой видимости, в силу расходимости излучения для ОАМ мод с номером $K > 0$ (см. [1]).

4. Выводы

В работе предложена и промоделирована двухполяризационная кольцевая антенная решетка из девяти одинаковых эквидистантно расположенных излучателей в диапазоне частот от 2.5 до 3 ГГц. Каждый излучатель представляет собой патчевую антенну с двумя портами, соответствующими ортогональным поляризациям излучения и имеющими развязку около 40 дБ во всем рабочем диапазоне частот. Рассчитанная взаимная связь между излучателями в решетке не превышает -25 дБ. Рассчитаны характеристики излучения решетки на модах с циклическим изменением фазы на элементах (ОАМ моды). Диаграммы излучения на высших ОАМ модах имеют вихреобразную форму. Показано, что соответствующий луч-воронка отклоняется от вертикальной оси решетки тем больше, чем выше номер моды.

Для рассмотренной 9-элементной решетки для ОАМ моды $K=4$ отклонение луча составляет 45° . Данное свойство кольцевых решеток может быть использовано для сканирования луча по углу места. Кроме того, как было предложено ранее, ОАМ моды с разными номерами и с разным знаком одного номера можно использовать как независимые каналы для передачи информации с целью увеличения пропускной способности в ММО системах связи на коротких расстояниях.

Литература

1. O. Edfors, A. J. Johansson. Is Orbital Angular Momentum Based Radio Communication An Unexploited Area? // IEEE Trans on Antennas and Propagation, Vol. 60, Feb 2012, p.1126-1131.
2. S. M. Mohammadi, et all. Orbital Angular Momentum In Radio - A System Study. // IEEE Trans on Antennas and Propagation, Vol. 58, No 2, 2010, p.565-572.
3. Ch. Deng, W. Chen, Zh. Zhang, Y. Li and Zh. Feng. Generation of OAM Radio Waves Using Circular Vivaldi Antenna Array. // Int. Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2013. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hindawi.com/journals/ijap/2013/847859/>