

УДК 537.862; 621.396.677.33

## Исследование рупорно-линзовой ТЕМ-антенны как элемента кольцевой антенной решетки

Ефимова Н. А.

*Московский технический университет связи и информатики, МТУСИ, ул. Авиамоторная, 8а,*

*Москва, 111024, Россия*

*e-mail: e.natalie86@gmail.com*

### Аннотация

Проведено исследование согласования и характеристик излучения рупорно-линзовой ТЕМ-антенны в качестве элемента сверхширокополосной кольцевой антенной решетки. Теоретические результаты получены путем электродинамического моделирования на основе метода конечных элементов. Рассмотрены рупорные излучатели с различной геометрией линзы.

**Ключевые слова:** кольцевые антенные решетки, сверхширокополосные антенные решетки, сверхширокополосные антенны, линзовые антенны, ТЕМ-рупоры.

### Введение

В настоящее время сверхширокополосные (СШП) антенны используются в самых различных областях радиоэлектроники. Много исследований в сфере излучения СШП сигналов посвящено кольцевым антенным решеткам на основе различных СШП излучателей (напр. [1,2]).

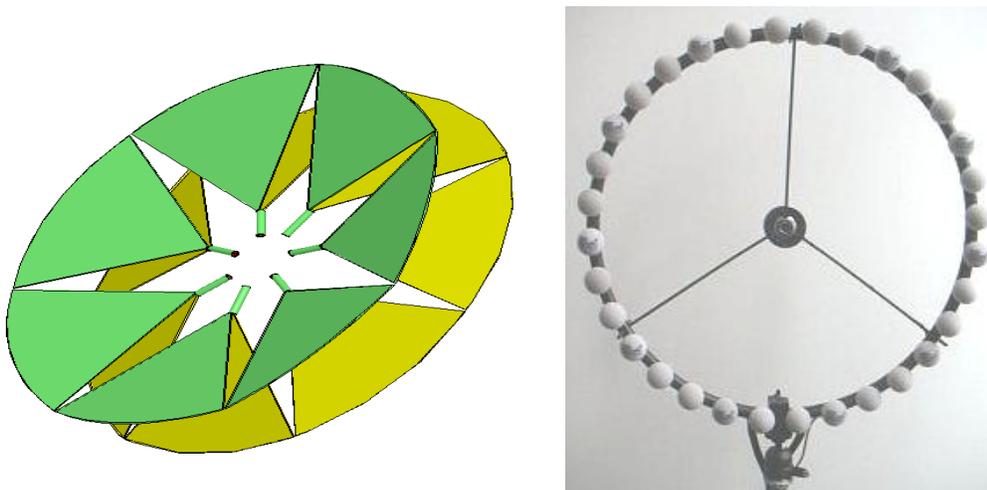


Рис. 1. Примеры кольцевых антенных решеток

Кольцевые антенные решетки (рис. 1) представляют собой систему излучателей, размещенных вдоль колец. На практике применяют решетки в виде одного или нескольких колец. Благодаря круговой симметрии такие решетки могут использоваться для получения направленных (в плоскости решетки) диаграмм, мало меняющихся при сканировании в пределах  $360^\circ$ . В качестве элементов кольцевых антенных решеток могут быть использованы различные типы СШП антенн. Традиционно используемые в радиопеленгаторных комплексах логопериодические вибраторные антенны нельзя размещать в антенной решетке ближе, чем на расстоянии, равном половине длины волны нижней частоты согласования – в противном случае качество их согласования с питающей линией и направленные свойства резко ухудшаются. Кроме того, они обладают слабой направленностью в Е-плоскости. ТЕМ-рупор как элемент кольцевой антенной решетки обладает высокой направленностью. Однако КИП ТЕМ-рупоров, особенно в верхней части частотного диапазона – недостаточно высок.

Основными геометрическими параметрами рупора являются его длина и два угла:  $\alpha$ , определяющий угловой размер пластин и  $\beta$  - угол между пластинами (см. рис. 2). Один из недостатков ТЕМ-рупоров, согласованных с 50-омной коаксиальной линией – большая разница между этими углами, что ведет к неэффективному использованию пространства в кольцевых решетках на основе ТЕМ-рупоров.

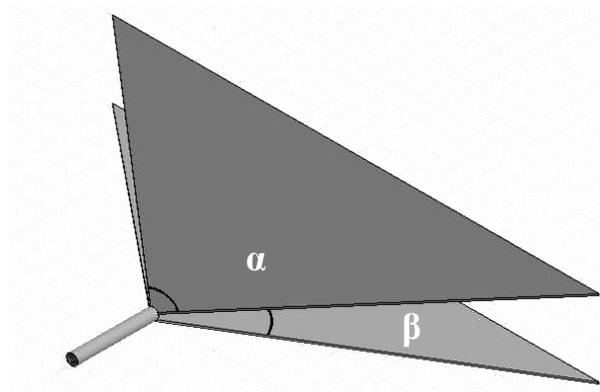


Рис. 2. Геометрия ТЕМ-рупора

В работе [3] предложен ТЕМ-рупор, пространство между пластинами которого заполнено диэлектриком с выходной поверхностью в форме линзы (рис. 3). Следует отметить, что использование линз в качестве корректора фазы пирамидальных и круглых рупоров широко известно и такие антенны получили название рупорно-линзовых антенн [4]. Поэтому в дальнейшем исследованную антенну будем называть металлодиэлектрической рупорно-линзовой ТЕМ-антенной или кратко - МДРЛА.

На рис. 3 показаны сечения в Е-плоскости двух исследованных МДРЛА с симметричной (3а) и несимметричной (3б) относительно пластин рупора фокусировкой. В последнем случае линза одновременно с фокусировкой обеспечивает поворот излучения на угол, равный половине угла  $\beta$ . Образующая первой линзы рассчитывалась из условия получения плоского фронта волны, который перпендикулярен плоскости симметрии линзы, а второй - одной из пластин, образующей рупор.

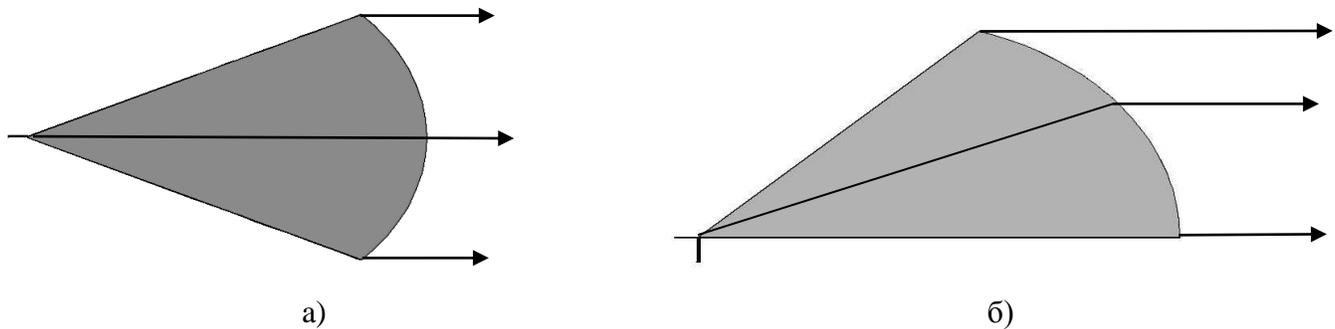


Рис. 3. Продольные сечения МДРЛА

МДРЛА обладает высокой направленностью, стабильно высоким КИПом и, соответственно, узкой диаграммой направленности, в том числе, в Н-плоскости. При использовании МДРЛА в составе кольцевой антенной решетки это означает, что диаграммы направленности отдельных элементов будут пересекаться на недостаточно высоком уровне, что приводит к провалам к диаграмме направленности решетки.

Для расширения диаграммы направленности в Н-плоскости в данной работе предлагается использовать МДРЛА с цилиндрической, а не сферической, как в работе [3], линзой. В Е-плоскости диаграмма элемента решетки аналогична диаграмме МДРЛА [3], а в Н-плоскости линза не влияет на фокусировку излучения.

### Исследование отдельного излучателя

Теоретическое исследование МДРЛА проводилось на основе электродинамического моделирования методом конечных элементов. Результаты исследования зависимости коэффициента отражения МДРЛА от частоты представлены на рис. 4. Общая длина рупоров с линзой составляла 500 мм, ширина – 492 мм, высота - 175 мм – для антенны с несимметричной линзой, 466 мм и 112 мм, соответственно, – для антенны с симметричной линзой.

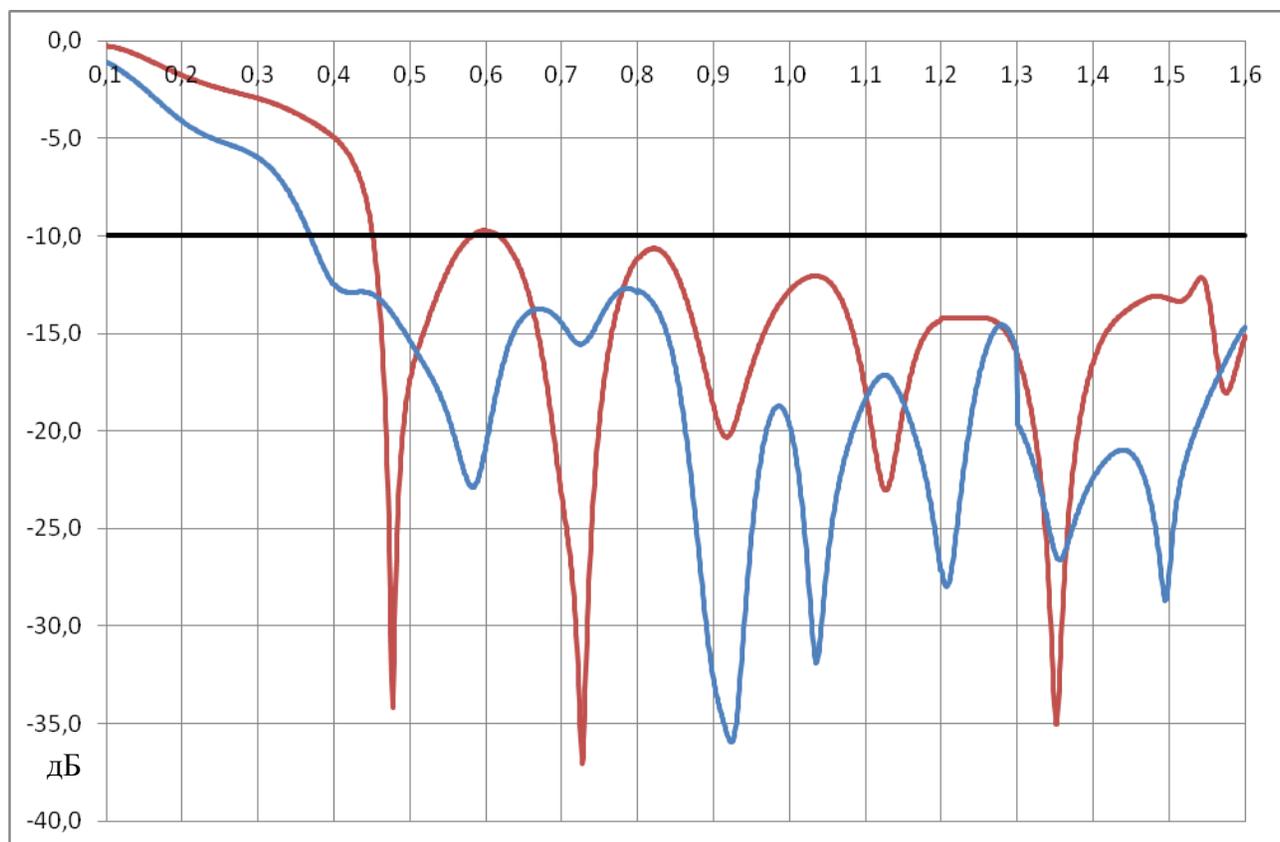


Рис. 4. Зависимость коэффициента отражения от частоты

для антенны с симметричной линзой (красная линия), несимметричной линзой (синяя линия)

Как видно из рисунка, наилучшее согласование обеспечивает антенна с несимметричной линзой, возбуждающаяся коаксиальной линией, ортогональной оси рупора. Нижняя граница согласования по уровню -10 дБ для этой модели равна 366 МГц (1.91 ка) Антенна с симметричной линзой согласуется хуже, несмотря на большую величину апертуры (нижняя граница составляет 453 МГц (2.37 ка). На рис. 5 представлена зависимость коэффициента усиления антенны от частоты, на рис. 6 – зависимость КИПа от частоты.

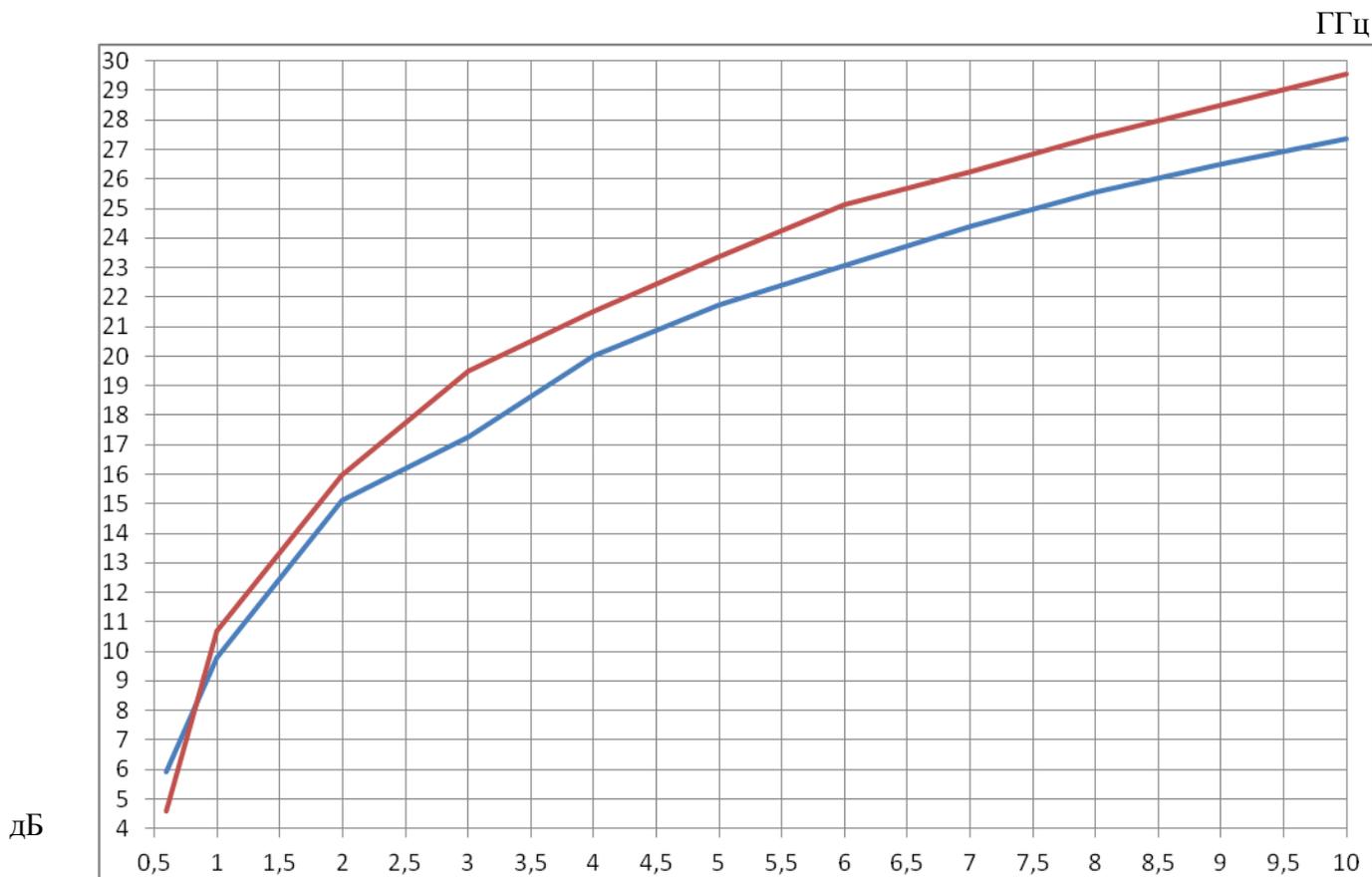


Рис. 5. Зависимость коэффициента усиления антенны от частоты для антенны с симметричной линзой (красная линия), несимметричной линзой (синяя линия)

Как видно из рис. 5, коэффициент усиления МДРЛА монотонно растет с увеличением частоты. Для антенн с симметричной линзой на 10 ГГц он достигает 29,5 дБ. Для антенны с несимметричной линзой в той же точке он примерно равен 27 дБ.

Рис. 5 демонстрирует, что антенна с симметричной линзой обеспечивает максимальное усиление. Это подтверждает рис. 6, где видно, что наибольшей величиной КИПа обладает антенна с несимметричной линзой. На низких частотах КИП этой антенны немного больше 1, а после 3 ГГц устанавливается на уровне 0,8 и далее практически не меняется. Антенны с симметричной линзой демонстрируют КИП, примерно равный 0,7.

ГГц

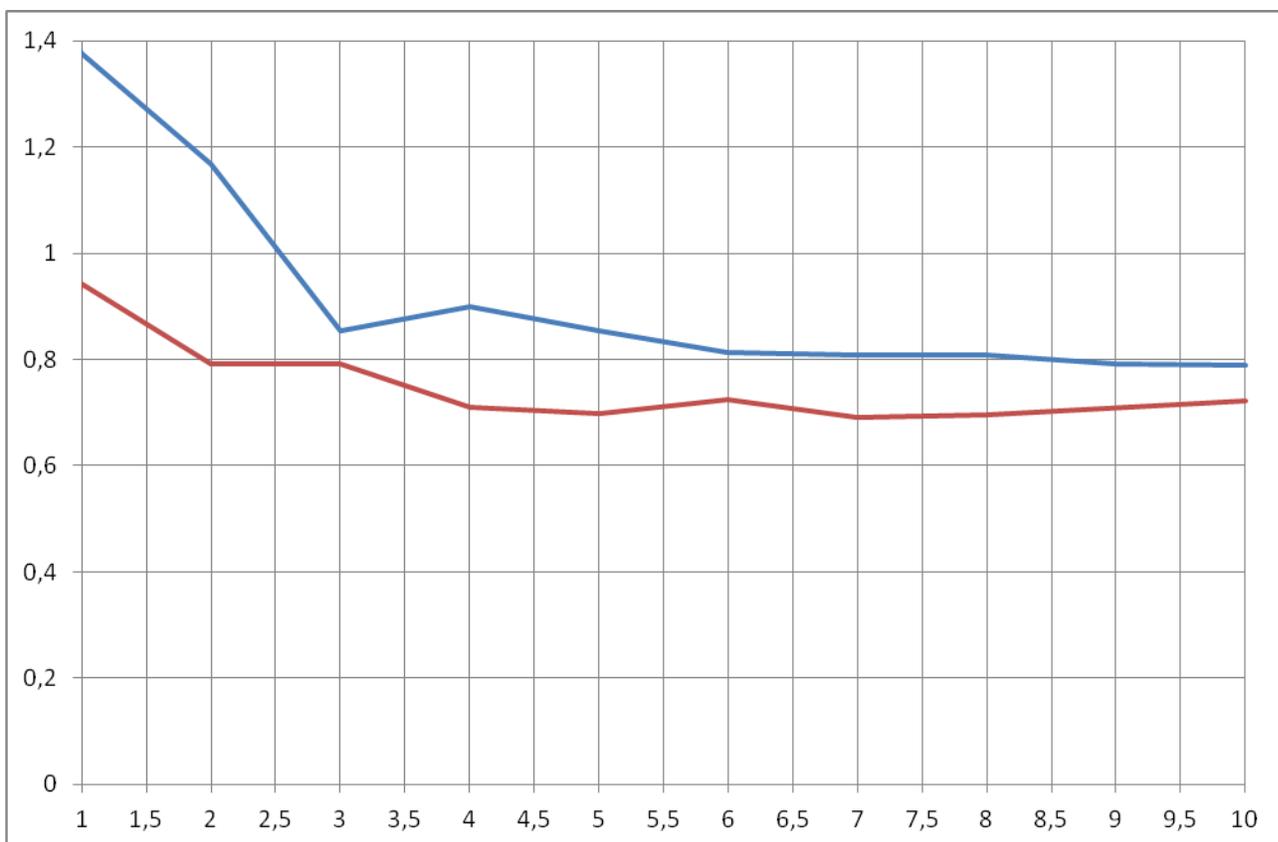


Рис. 6. Зависимость КИПа антенны от частоты

для антенны с симметричной линзой (красная линия), несимметричной линзой (синяя линия)

На рис. 7 показаны диаграммы направленности МДРЛА с несимметричной линзой в Е-плоскости (7а) и в Н-плоскости (7б). Фиолетовая линия соответствует частоте  $f = 3$  ГГц, зеленая линия –  $f = 2$  ГГц, красная линия –  $f = 1$  ГГц, синяя –  $f = 0.6$  ГГц. Как видно из рисунков, ширина главного лепестка диаграммы направленности в обеих плоскостях монотонно сужается с ростом частоты. При этом из-за большей разницы величины апертуры в Е-плоскости ширины главного лепестка в этой плоскости отличаются сильнее. Ширина диаграммы направленности в плоскости решетки по 3 дБ на 2 ГГц составляет  $20^\circ$ .

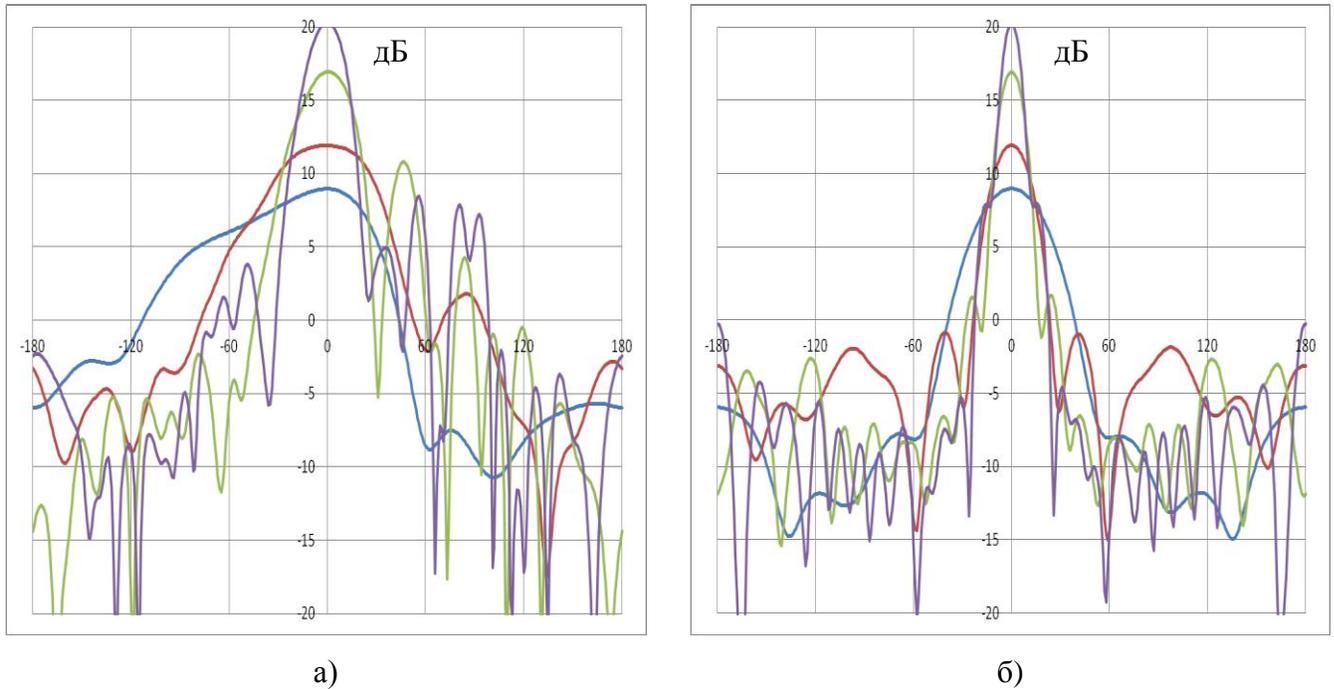


Рис. 7. Диаграммы направленности МДРЛА (а) Е-плоскость, (б) Н-плоскость

### Исследование излучателя в составе кольцевой решетки на основе ТЕМ-рупоров

В данной работе рассматривалась однокольцевая решетка (рис. 8). В качестве элемента кольцевой решетки была выбрана исследованная нами выше МДРЛА с несимметричной относительно пластин рупора фокусировкой.

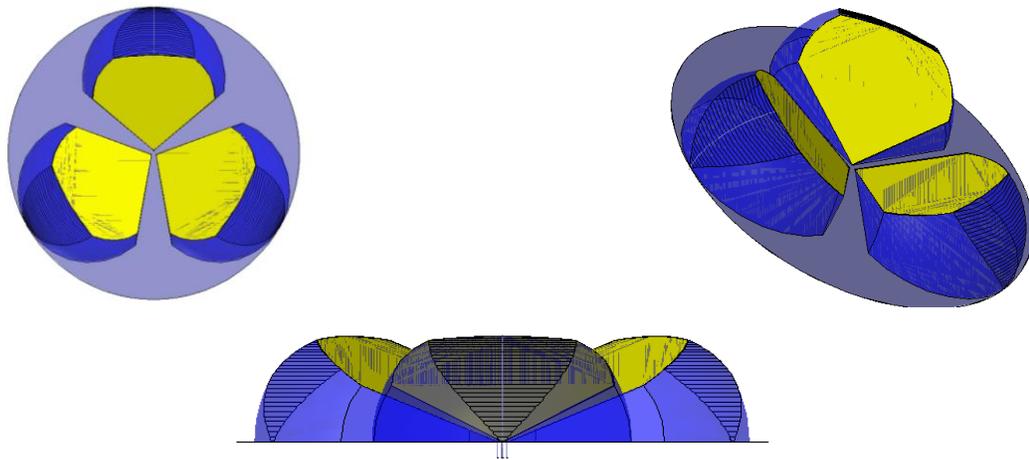


Рис. 8. Геометрия кольцевой решетки на основе ТЕМ-рупоров

Количество элементов решетки было выбрано равным трем, так как данная модель – наиболее простая с точки зрения компьютерного моделирования. Расстояние между элементами

было составило 10 мм, что почти на три порядка меньше длины волны на нижней границе полосы.

На рис. 9 можно видеть коэффициент отражения МДРЛА в составе кольцевой антенной решетки в зависимости от частоты. Горизонтальная линия соответствует уровню -10 дБ. Как видно из рисунка, нижняя граница согласования элемента решетки составила 0,34 ГГц (1.78 ка), что несколько ниже, чем аналогичная характеристика у МДРЛА, взятой как отдельный излучатель. Улучшение согласования, по всей видимости, связано с увеличением размера экрана на фоне малого взаимного влияния элементов решетки.

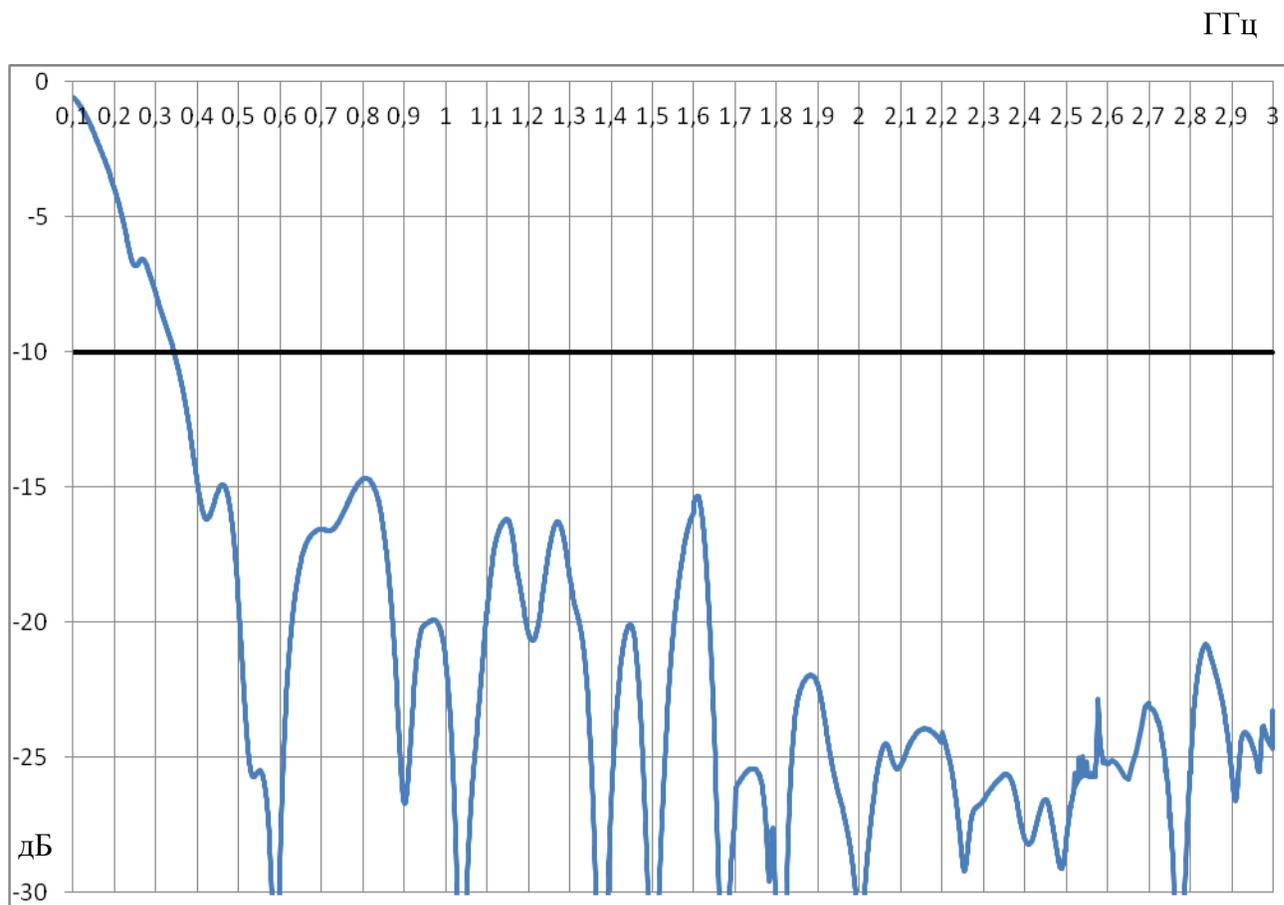


Рис. 9. Коэффициент отражения элемента кольцевой решетки на основе ТЕМ-рупоров в зависимости от частоты

На рис. 10 показаны диаграммы направленности МДРЛА в составе кольцевой антенной решетки в Е-плоскости (10а) и в Н-плоскости (10б). Фиолетовая линия соответствует частоте  $f = 3$  ГГц, зеленая линия –  $f = 2$  ГГц, красная линия –  $f = 1$  ГГц, синяя –  $f = 0.6$  ГГц. Как видно из рисунка, диаграмма элемента сохраняет свои характеристики направленности, что подтверждает

малое влияние одних элементов на другие и доказывает эффективность использования МДРЛА в качестве элемента кольцевой решетки. Ширина диаграммы направленности по 3 дБ элемента в составе решетки незначительно увеличивается по сравнению с ДН отдельного излучателя.

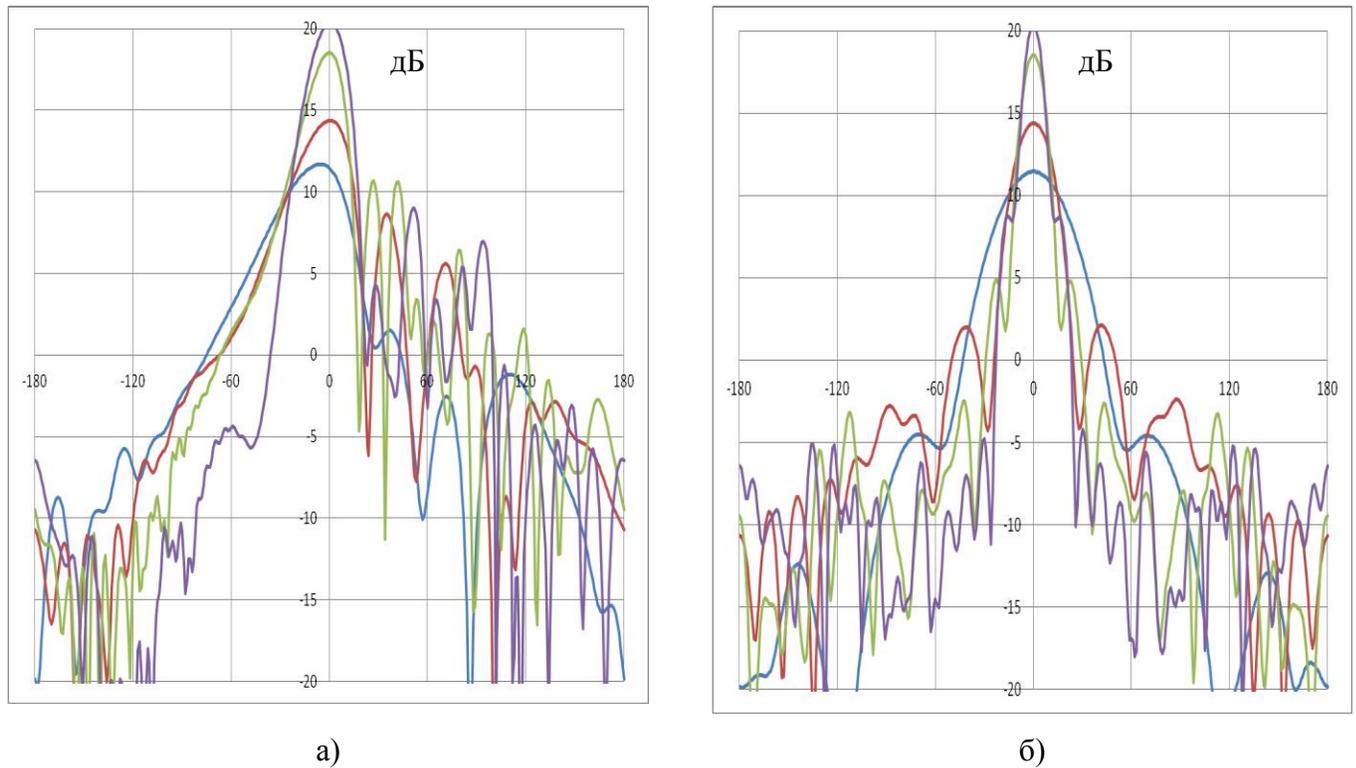


Рис. 10. Диаграммы направленности МДРЛА в составе кольцевой антенной решетки  
(а) Е-плоскость, (б) Н-плоскость

### Заключение

Проведенные исследования МДРЛА с цилиндрической линзой показали перспективность ее использования в качестве элемента сверхширокополосной кольцевой антенной решетки. Исследование кольцевой решетки на основе МДРЛА показали малое влияние взаимодействия между элементами на характеристики согласования и излучения антенной решетки.

Автор выражает благодарность Калошину В.А. за постановку задачи и полезные замечания, сделанные в процессе работы над статьей.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №12-07-00717-а).

## Литература

1. Ашихмин А.В. Проектирование и оптимизация сверхширокополосных антенных устройств и систем для аппаратуры радиоконтроля. М.: «Радио и Связь» - 2005 г.
2. Franek O., Frølund Pedersen G. Spherical Horn Array for Wideband Propagation Measurements // IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 59, Is. 7, 2011 , pp. 2654 – 2660
3. Ефимова Н.А., Калошин В.А., Скородумова Е.А. Исследование рупорно-линзовой ТЕМ-антенны // РЭ, 2012, том 57, № 9, 1020-1027.
4. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ. Т.1 М.: Связь – 1977 г.