

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТА СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ КОЛЬЦЕВОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ СКАНИРОВАНИЯ В ПОЛУСФЕРЕ

В. Л. Бирюков¹, М. Д. Душленкова², В. И. Калинин¹, В. А. Калошин¹

¹ ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН

² ОКБ МЭИ

Статья получена 24 января 2014 г.

Аннотация. Рассмотрена задача создания кольцевой антенной решетки для сканирования в полусфере в сверхширокой полосе частот (более 1:100). В качестве элемента решетки предложен новый сверхширокополосный излучатель со 180° шириной диаграммы направленности в H плоскости. Приведены результаты анализа характеристик согласования и излучения элемента и фрагмента антенной решетки методом конечных элементов и методом интегральных уравнений. Проведено сопоставление результатов численного моделирования и физического эксперимента.

Ключевые слова: сверхширокополосная антенна, кольцевая антенная решетка, частотные характеристики, диаграмма излучения, сканирование в полупространстве.

Abstract. The problem of creating a circular antenna array for scanning in the hemisphere in ultrawideband (greater than 1:100) was considered. As an element of the array a new UWB radiator with 180° beamwidth in the H plane was proposed. The results of analysis of radiating and matching characteristics of the element and a fragment of the antenna array using finite element method and the method of integral equations were given. Comparison of results of numerical simulation and physical experiment was done.

Key words: ultra wideband antenna, circular antenna array, frequency characteristic, radiation pattern, half-space scanning.

Введение

Сверхширокополосные (СШП) кольцевые антенные решетки (КАР) находят широкое применение в системах радиомониторинга, радиолокационной и медицинской техники [1-3]. В качестве элементов таких решеток используются различные типы СШП излучателей: биконические и диско-конические антенны, ТЕМ рупоры, логопериодические антенны [1,2], неоднородные щелевые антенны (антенны Вивальди) [3] и т.д. При проектировании СШП КАР возникает задача обеспечения максимальной полосы рабочих частот и сектора обзора. Для наземных систем максимальным сектором обзора является полусфера.

Максимальная рабочая полоса частот в КАР (более 1:100) была реализована в работе [4], где, в частности, был предложен новый СШП излучатель – несимметричный петлевой ТЕМ рупор. К сожалению, СШП КАР, исследованные в известных работах, не позволяют обеспечить сканирования луча в полусфере. Поэтому для реализации сканирования в полусфере в широкой полосе частот обычно используют полусферические антенные решетки [5].

Для решения задачи сканирования в полусфере в данной работе предложена СШП КАР, элементами которой являются новые, предложенные в работе [6] СШП излучатели. Этот излучатель представляет собой 180-градусную вырезку из поликонического излучателя, который ранее был предложен и исследован в работе [7].

В первом разделе работы исследованы диаграммы направленности одиночного элемента СШП КАР. Во втором разделе исследованы диаграммы направленности элемента в составе трехэлементного фрагмента СШП КАР. В третьем разделе приведены результаты моделирования и физического эксперимента по измерению коэффициента отражения.

1. Характеристики излучения элемента

В этом разделе представлены результаты исследования характеристик

излучения нового элемента для кольцевых антенных решеток, предназначенных для сканирования в полусфере в сверхширокой полосе частот. Рассмотрены два варианта излучателей: у первого - все грани металлические, у второго отсутствует металлизация основания и торцов антенны. Геометрия и размеры излучателя показаны на рис. 1. Геометрия решетки - на рис.2.

Моделирование характеристик излучения проводилось двумя методами: методом конечных элементов и методом интегральных уравнений.

В результате моделирования оказалось, что диаграммы направленности двух вариантов излучателя, а также результаты расчета двумя методами очень близки. Поэтому в данном разделе представлены результаты расчета только полностью металлизированного излучателя методом конечных элементов.

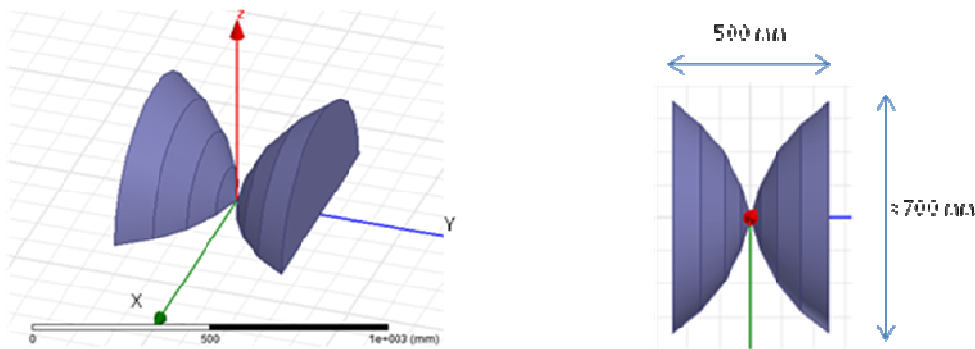


Рис.1. Сверхширокополосный излучатель

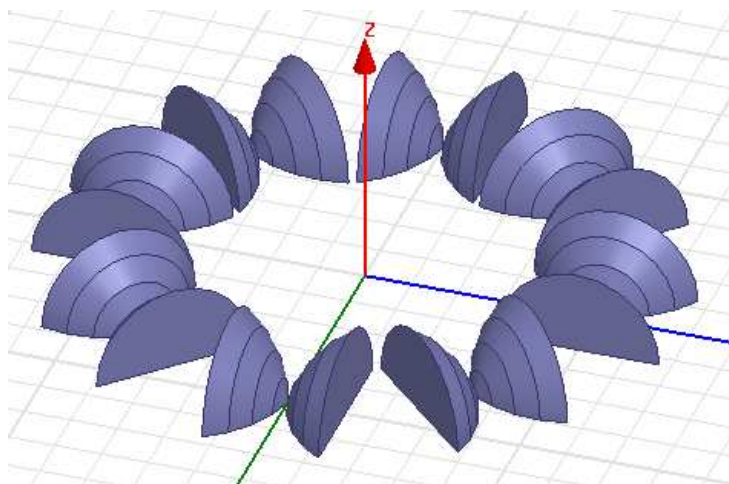
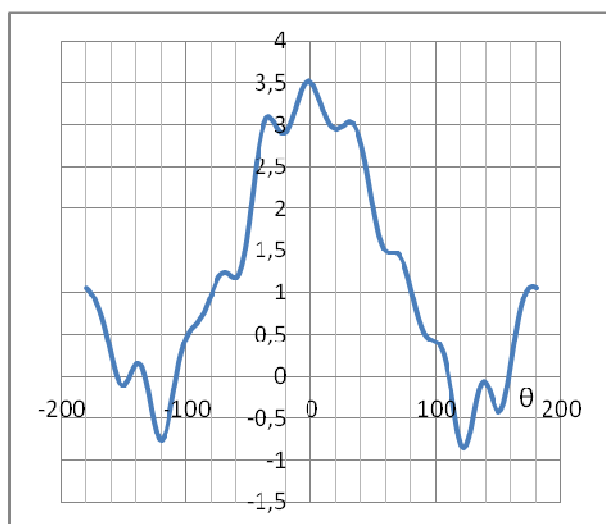
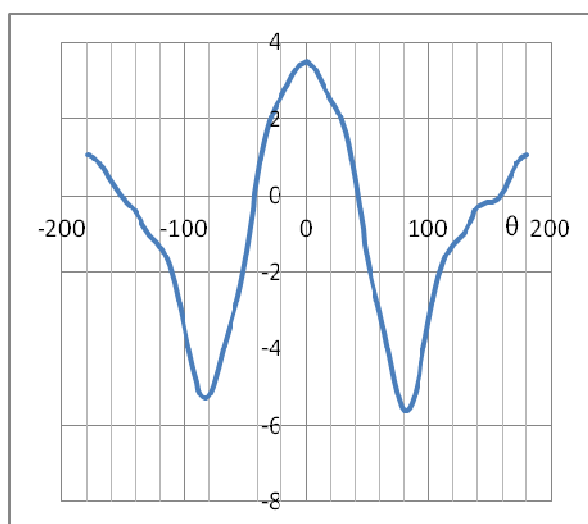


Рис.2. Кольцевая антенная решетка из восьми излучателей

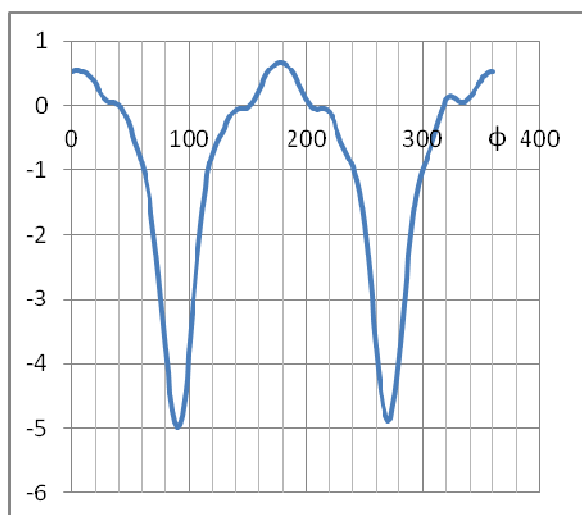
На рис. 3 представлены сечения диаграммы направленности в трех плоскостях $\varphi = 0^\circ$ (ZOX), $\varphi = 90^\circ$ (ZOY) и $\theta = 90^\circ$ (ХОУ) на разных частотах, на рис.4 – примеры распределения амплитуды ближнего электрического поля в разных плоскостях.



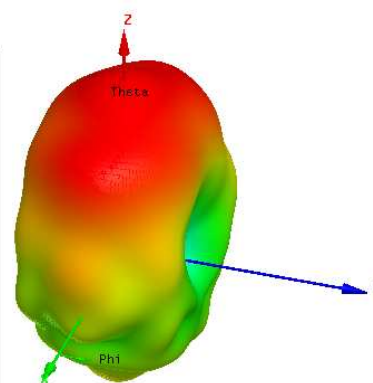
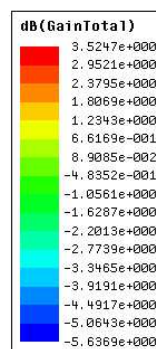
Phi=0°



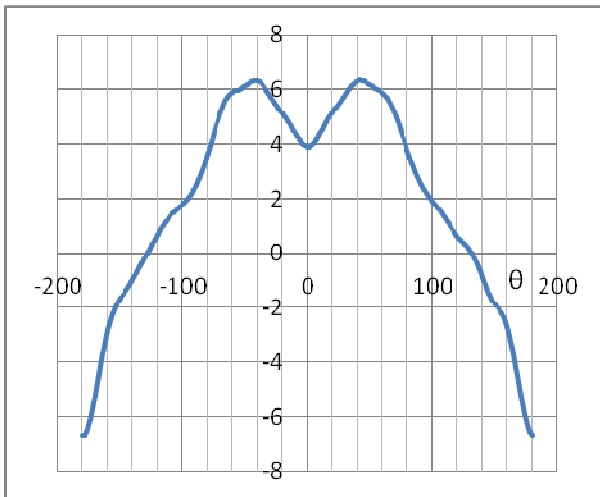
Phi=90°



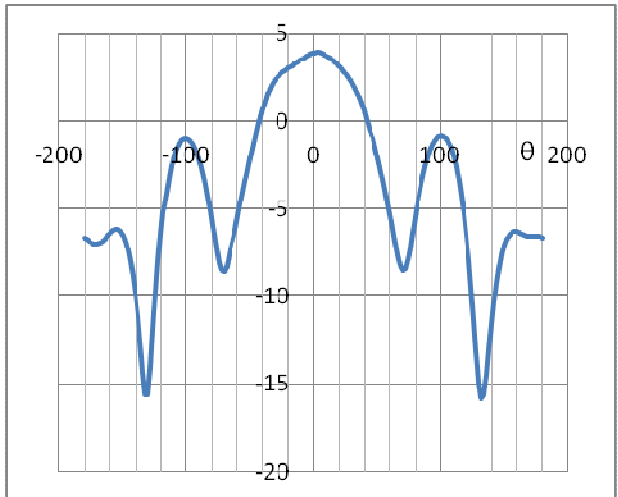
Theta=90°



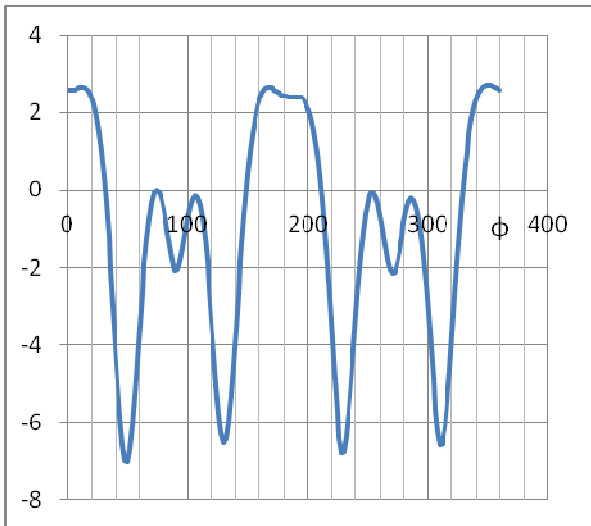
a) $f=0.25$ ГГц



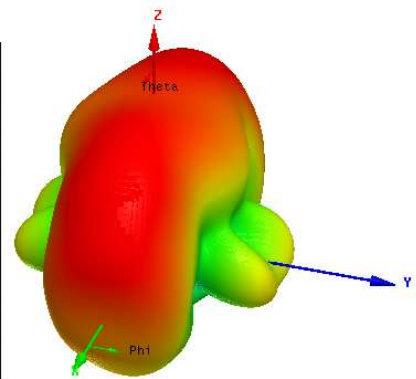
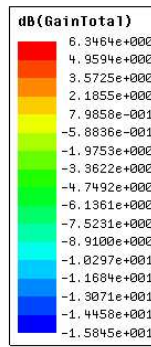
Phi=0°



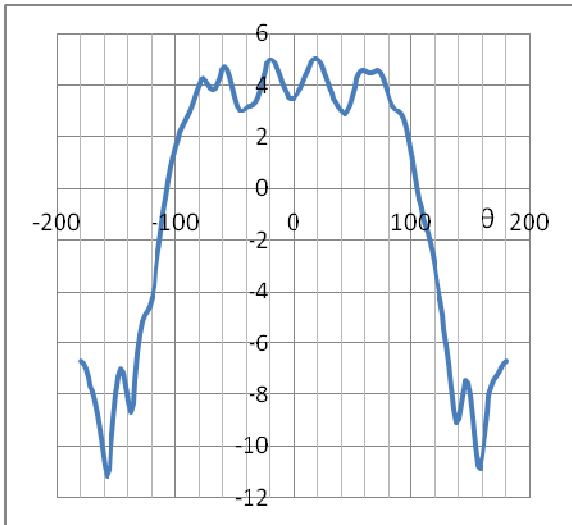
Phi=90°



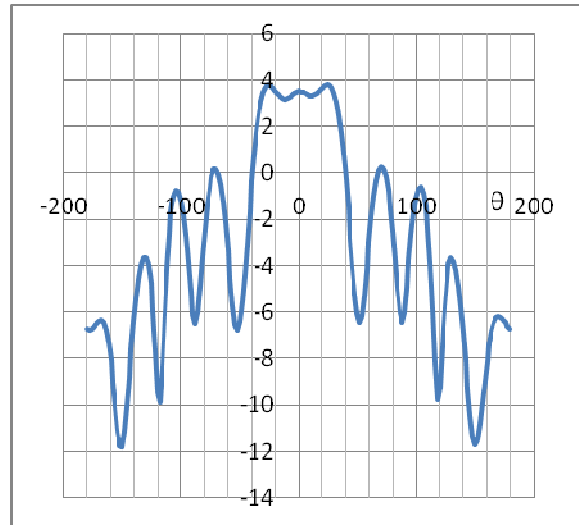
Theta=90°



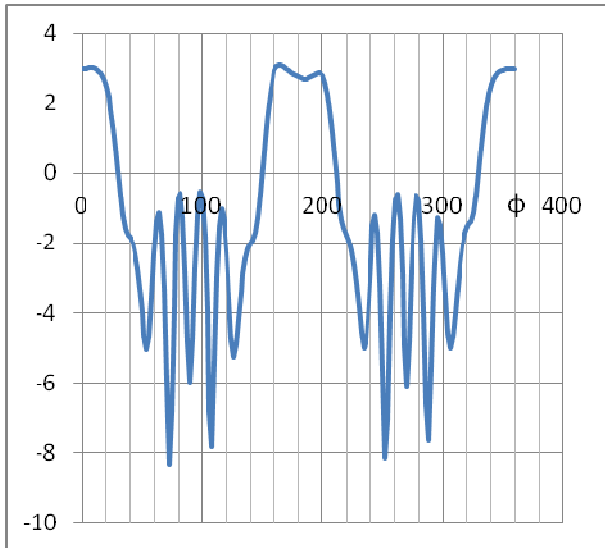
б) $f=0.7$ ГГц



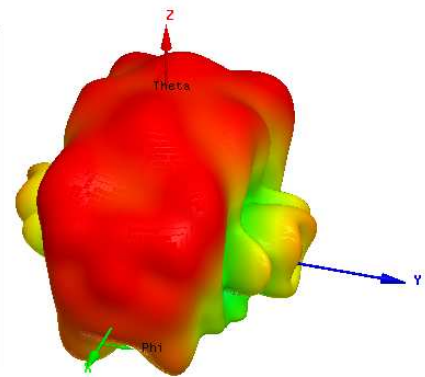
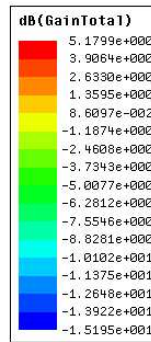
Phi=0°



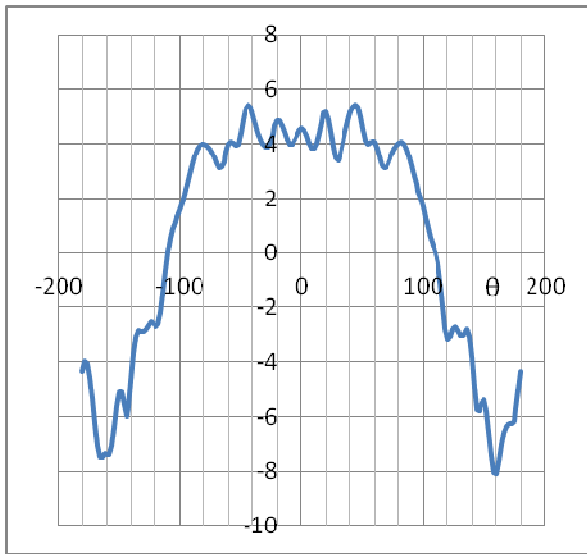
Phi=90°



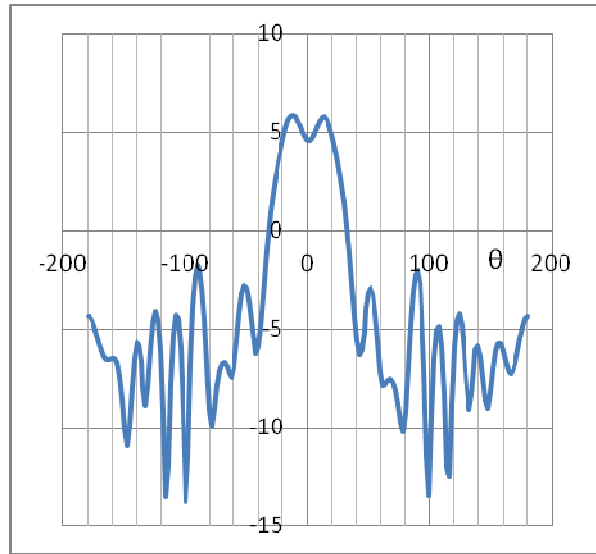
Theta=90°



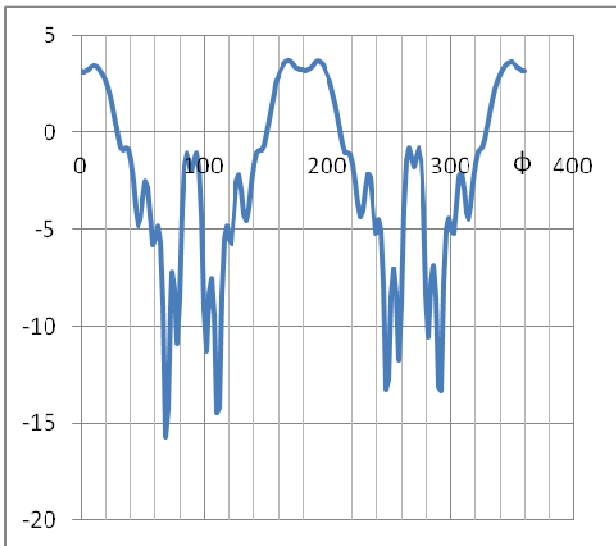
В) $f=1.5$ ГГц



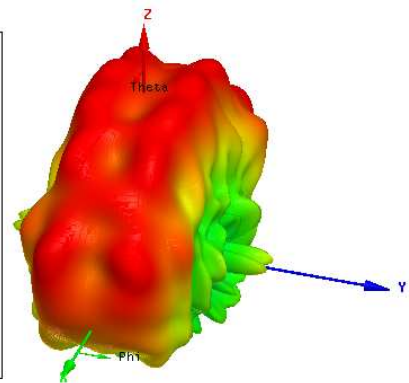
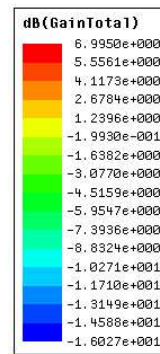
Phi=0°



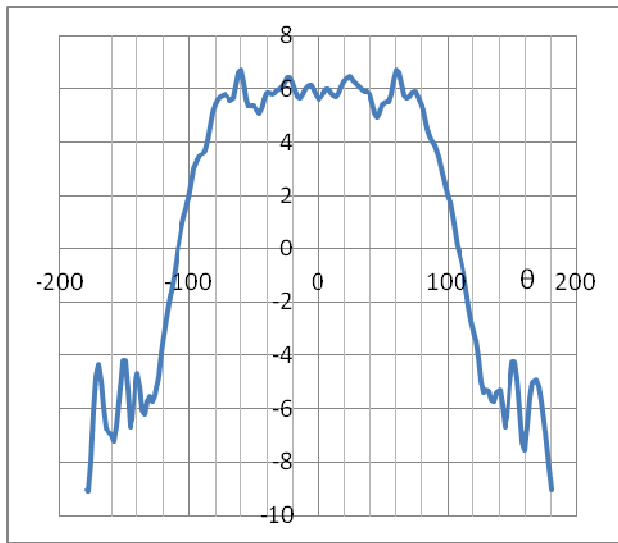
Phi=90°



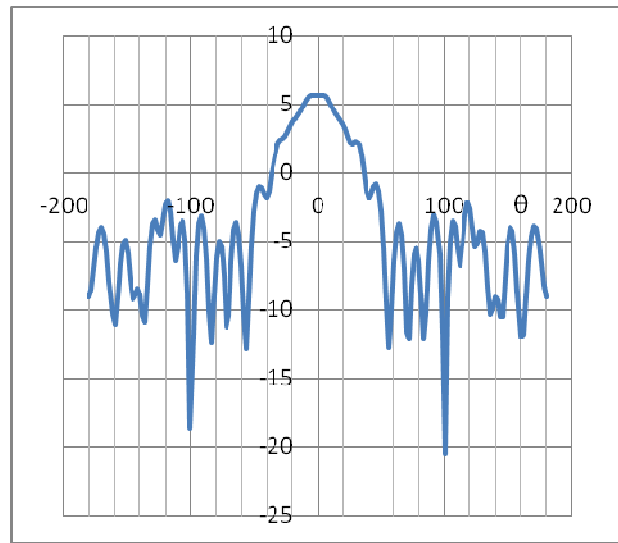
Theta=90°



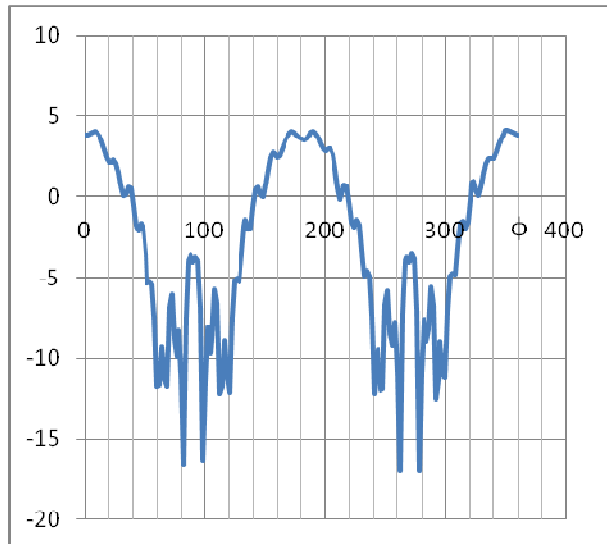
г) $f=2.5$ ГГц



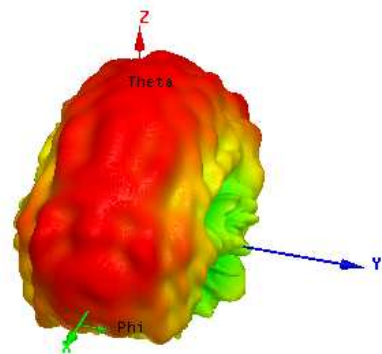
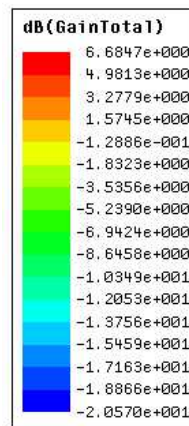
Phi=0°



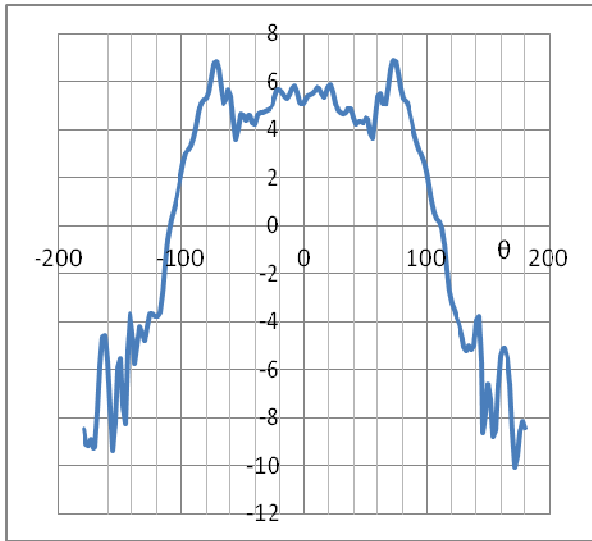
Phi=90°



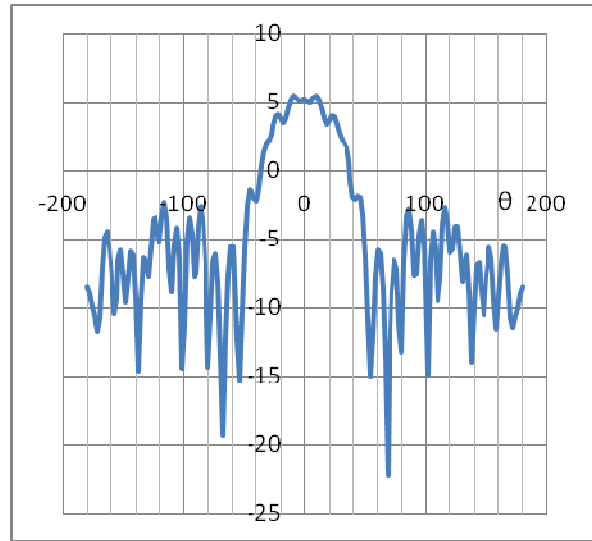
Theta=90°



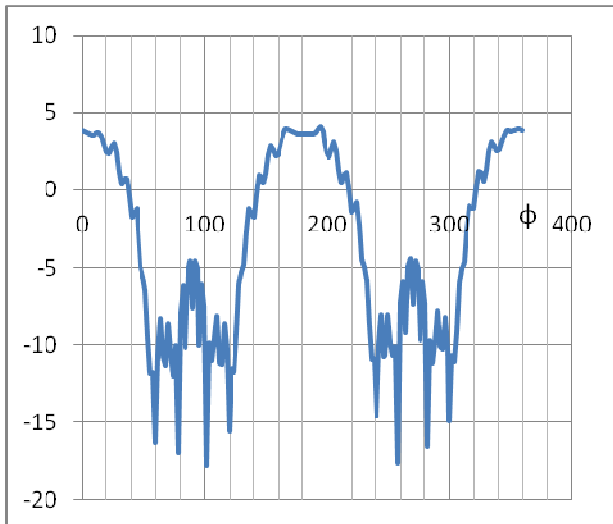
д) $f=3.5$ ГГц



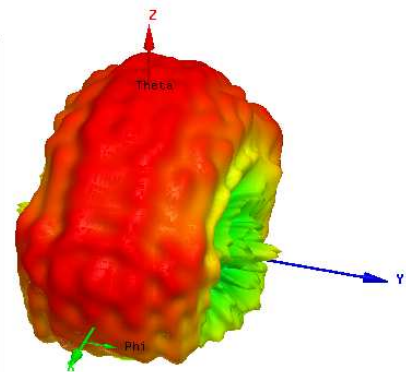
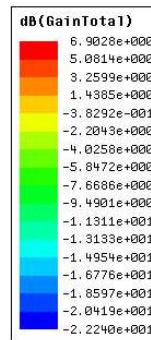
Phi=0°



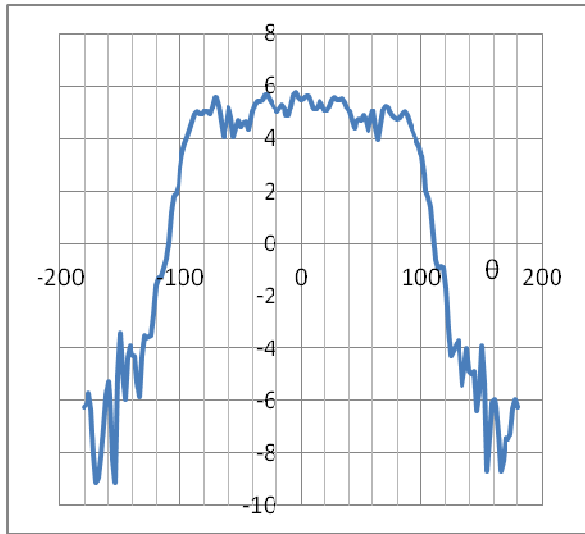
Phi=90°



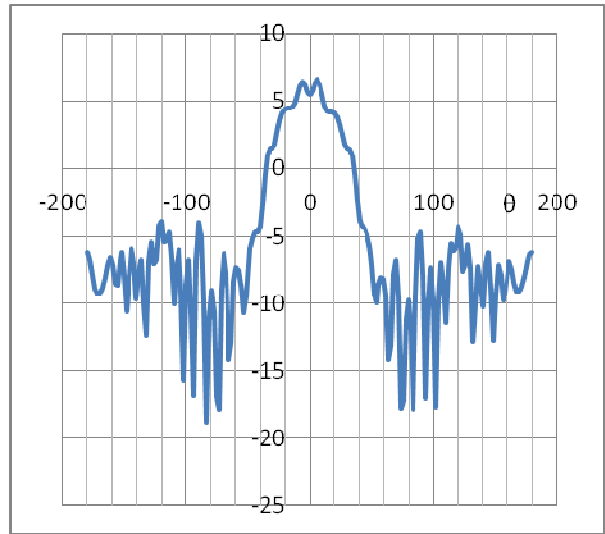
Theta=90°



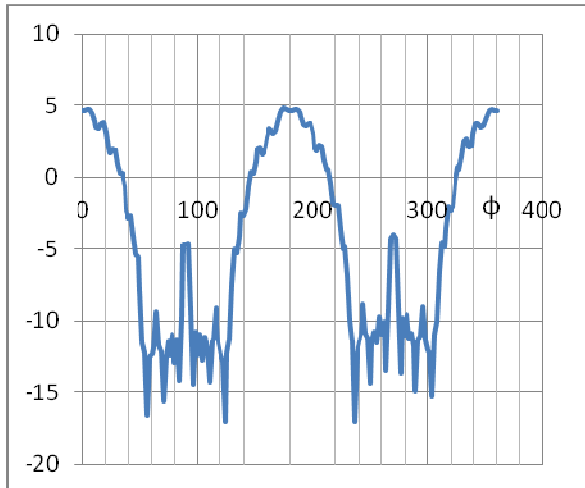
e) $f=4.5$ ГГц



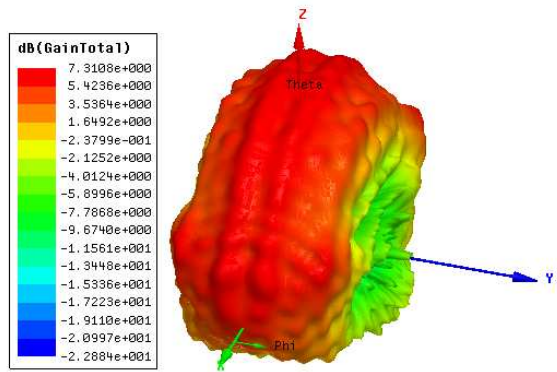
$\Phi = 0^\circ$



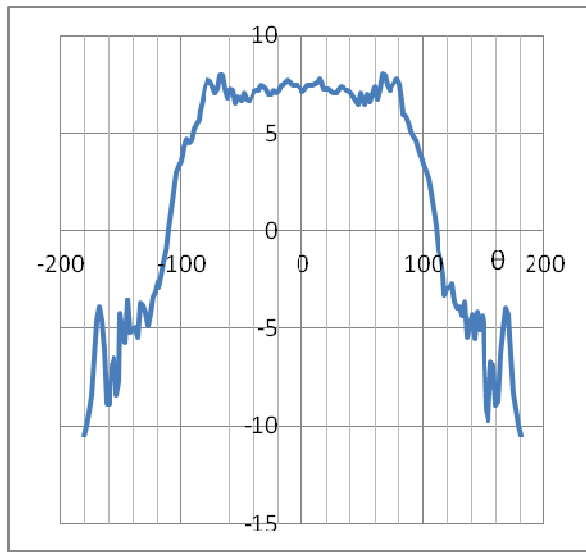
$\Phi = 90^\circ$



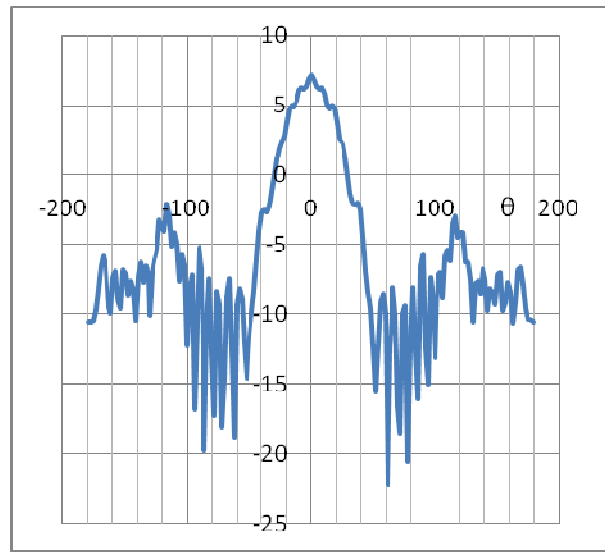
$\Theta = 90^\circ$



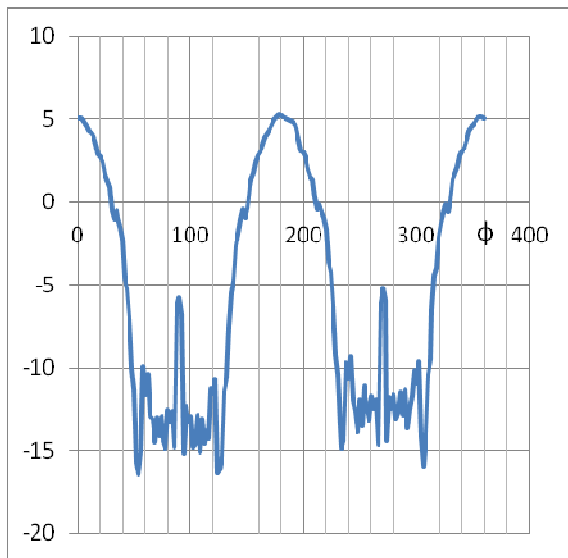
ж) $f = 5.5$ ГГц



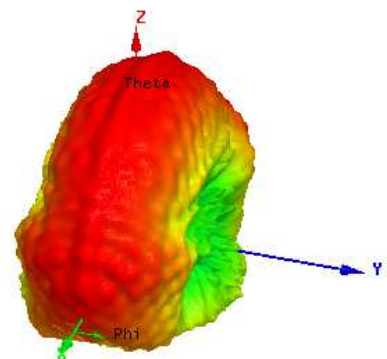
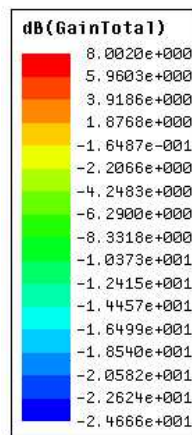
Phi=0°



Phi=90°

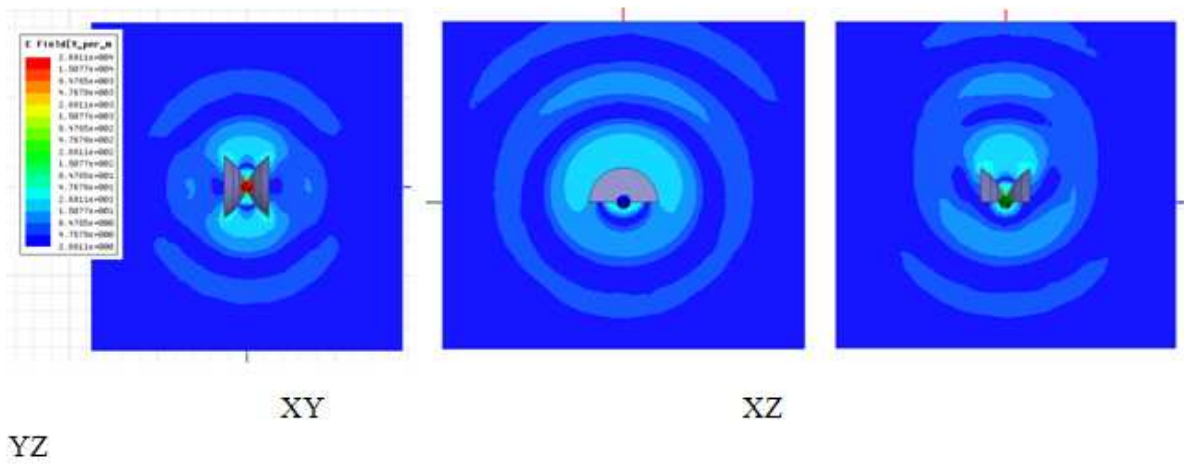


Theta=90°

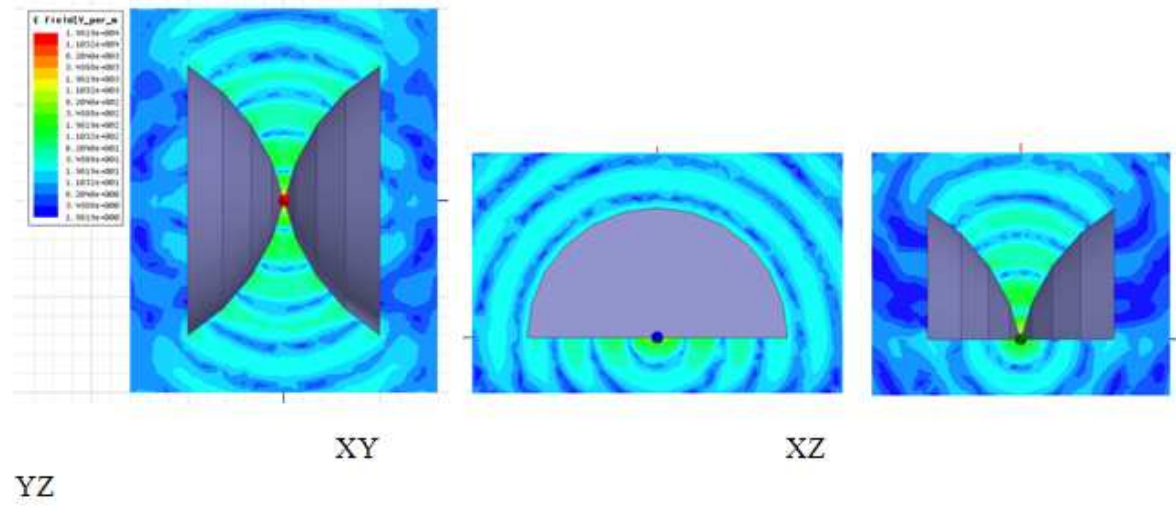


з) $f=7.0$ ГГц

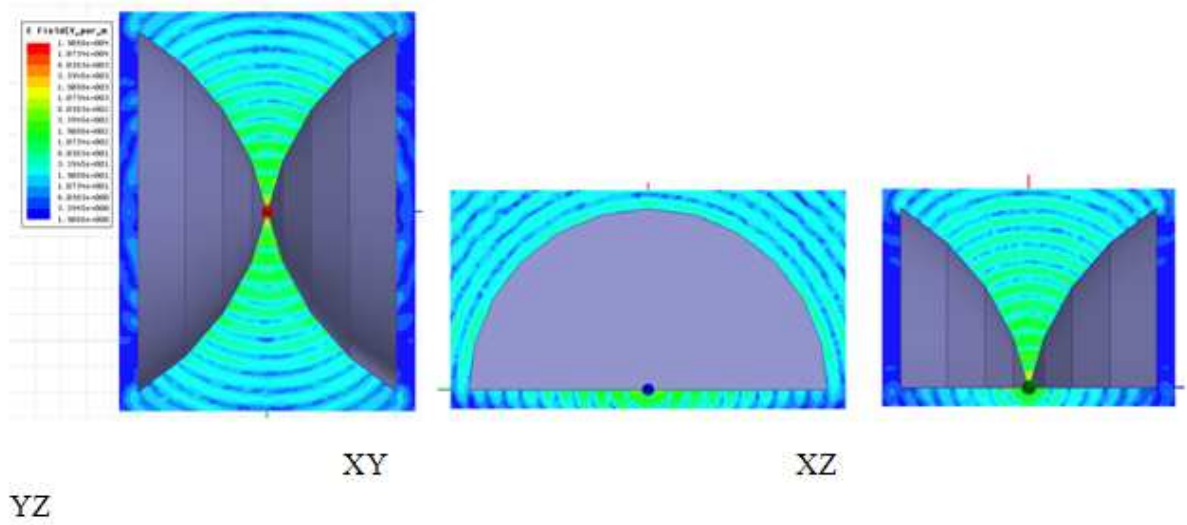
Рис.3. Сечения диаграммы направленности излучателя в главных плоскостях на разных частотах



a) $f=0.25$ ГГц



б) $f=1.5$ ГГц



в) $f=4.5$ ГГц

Рис.4. Распределения амплитуды электрического поля в трех ортогональных плоскостях на разных частотах

Как видно на рис.3,4, излучение в H плоскости ($\varphi = 0$) как в дальней, так и в ближней зоне с увеличением частоты приобретает ярко выраженную П-образную форму в диапазоне углов $0 < \theta < \pi/2$. В ортогональных плоскостях ширина диаграммы направленности с ростом частоты уменьшается, но коэффициент усиления по уровню 0 дБ остается в пределах 45° .

2. Характеристики излучения элемента фрагмента кольцевой антенной решетки из трех смежных поликонических излучателей

Для оценки влияния взаимной связи излучателей на согласование и диаграмму направленности элемента КАР рассматривался ее фрагмент, состоящий из трех соседних элементов (рис.5). Моделирование фрагмента проводилось в более узкой полосе частот в сравнении с одиночным излучателем, так как данная структура требует увеличенных машинных ресурсов при моделировании по сравнению с одиночным элементом. На рис. 5 представлены результаты расчета диаграммы направленности элемента фрагмента КАР (возбуждался только центральный элемент, остальные элементы нагружены на абсолютно поглощающие нагрузки).

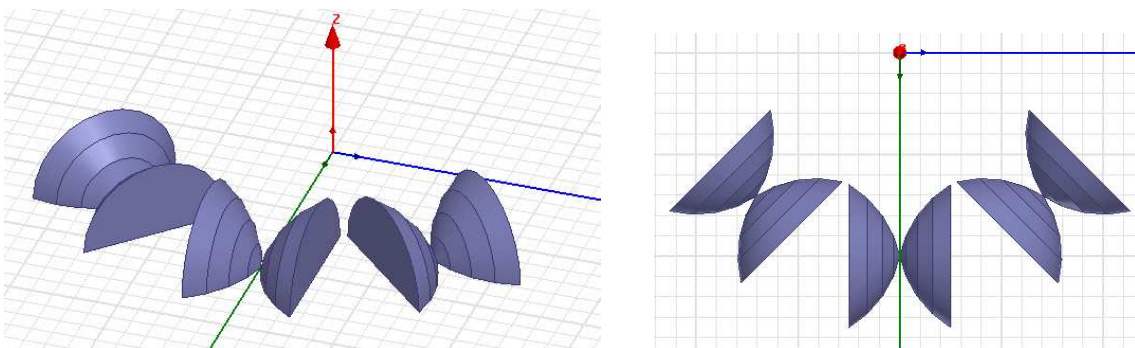
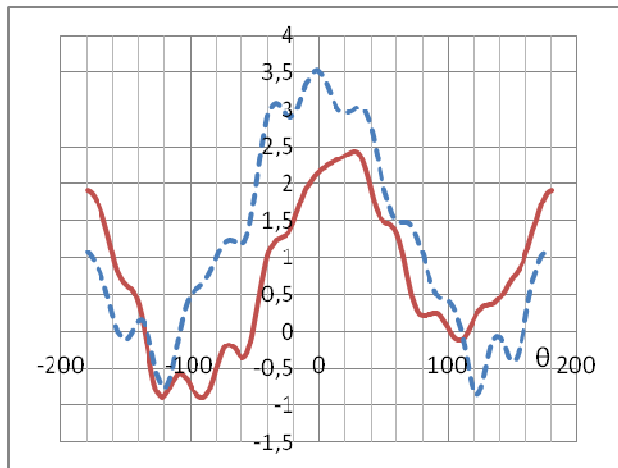
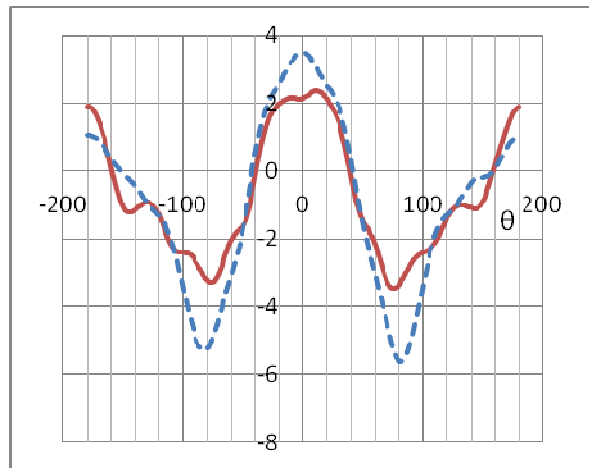


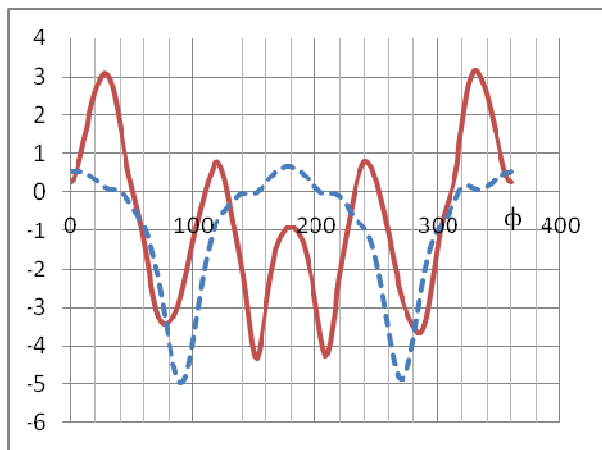
Рис.5. Фрагмент кольцевой решетки из трех рядом расположенных излучателей



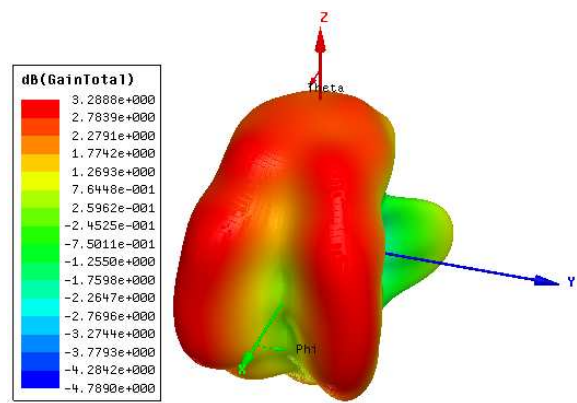
Phi=0°



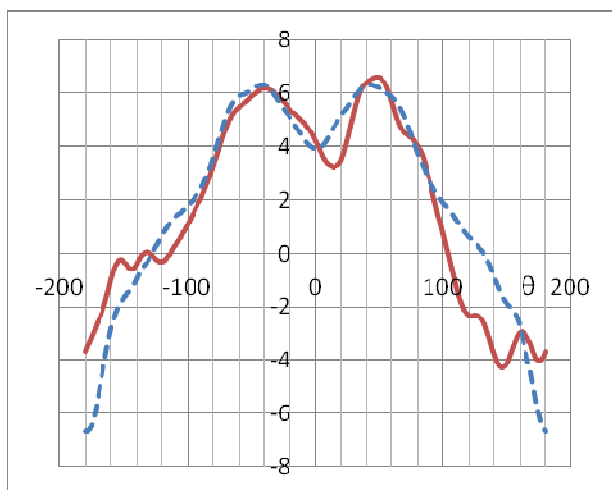
Phi=90°



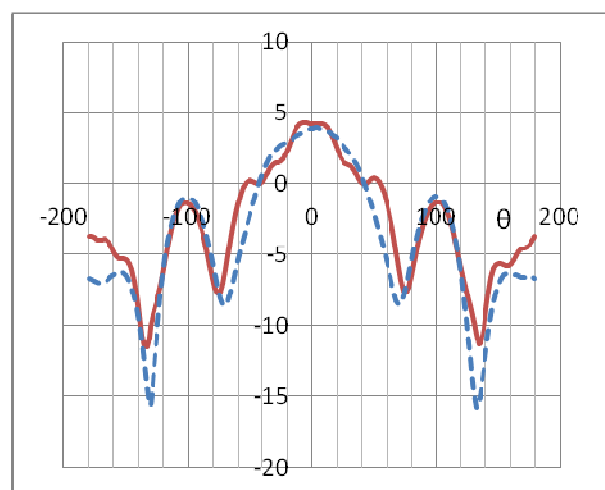
Theta=90°



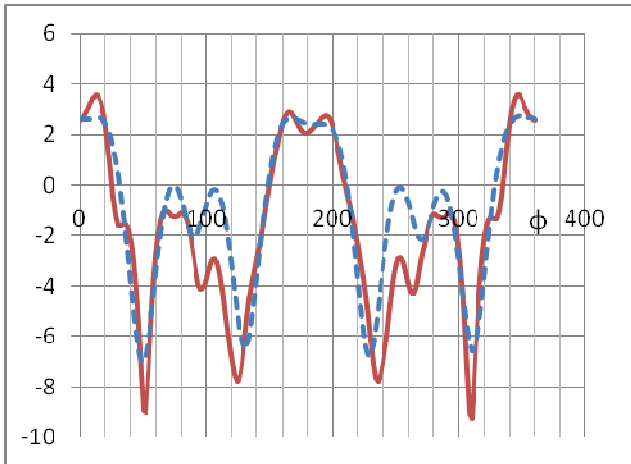
a) $f=0.25$ ГГц



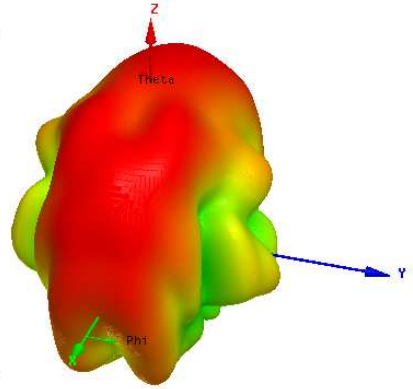
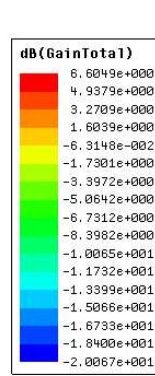
Phi=0°



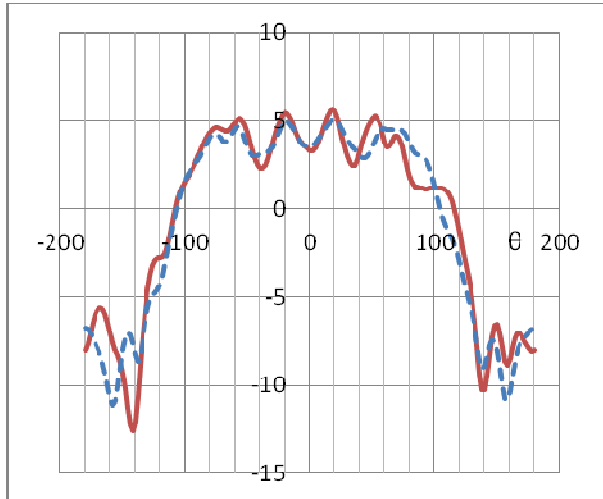
Phi=90°



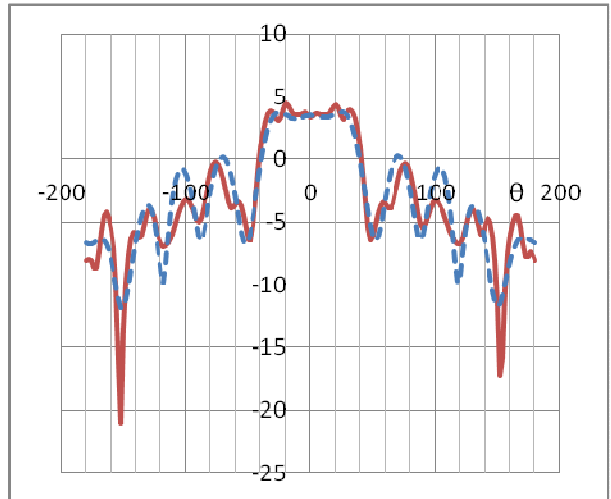
$\Theta=90^\circ$



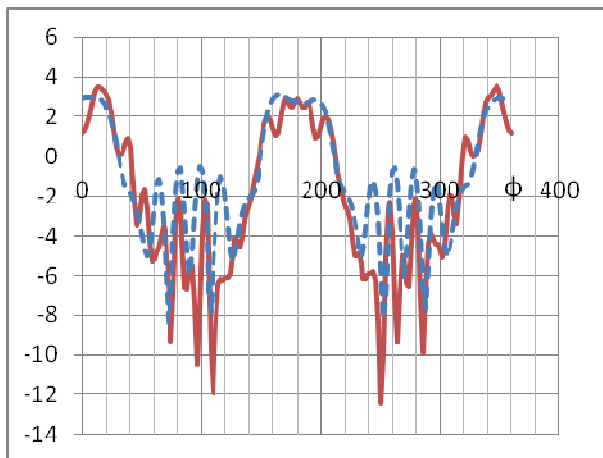
б) $f=0.7$ ГГц



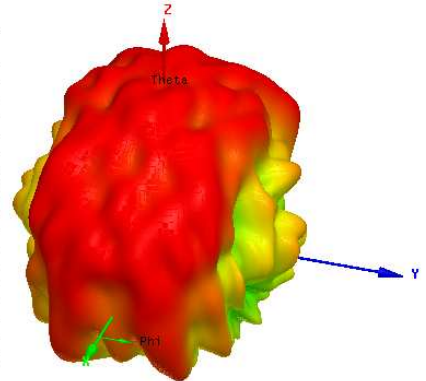
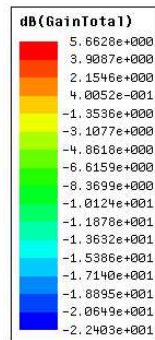
$\Phi=0^\circ$



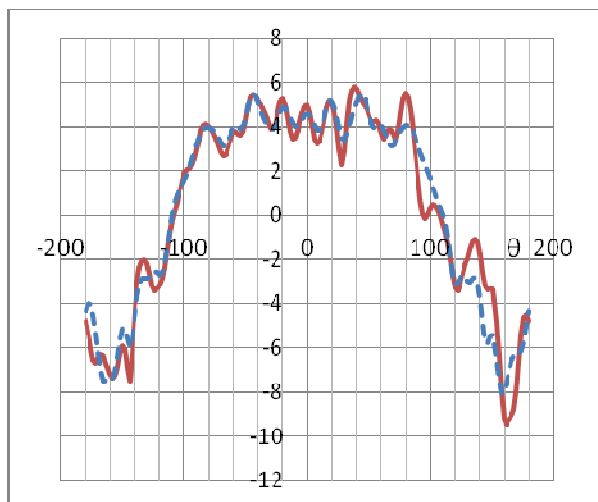
$\Phi=90^\circ$



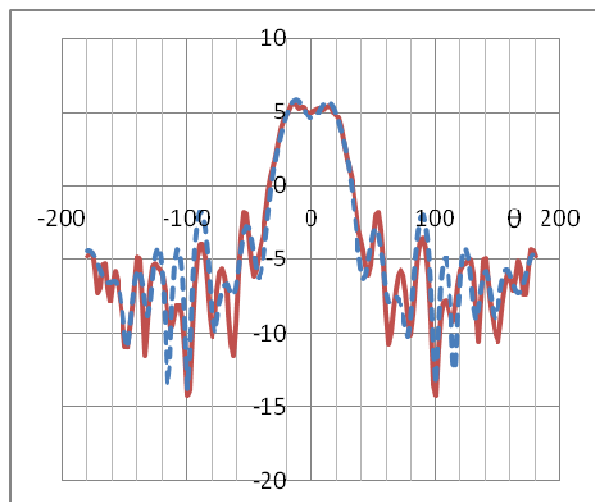
$\Theta=90^\circ$



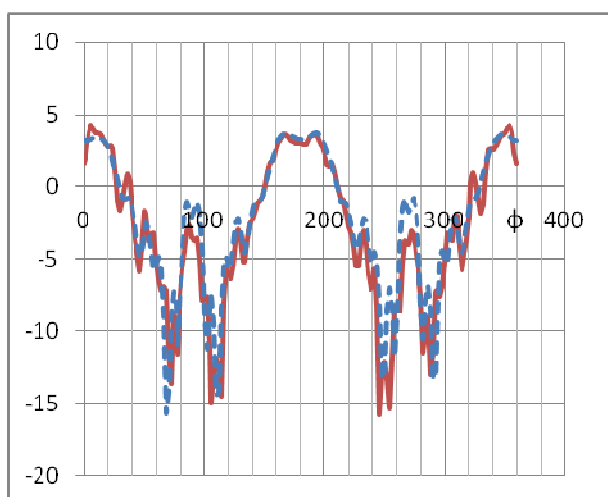
в) $f=1.5$ ГГц



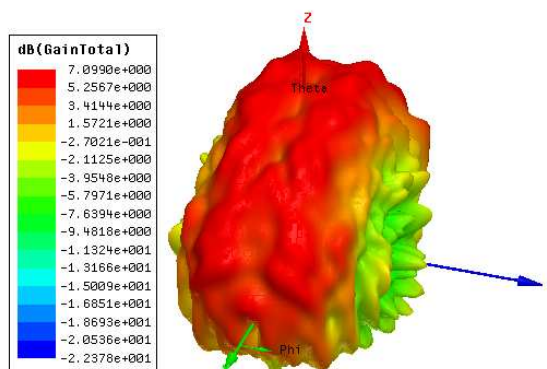
$\Phi=0^\circ$



$\Phi=90^\circ$



$\Theta=90^\circ$



г) $f=2.5$ ГГц

Рис.5. Сечения диаграммы направленности центрального излучателя в окружении двух соседних на разных частотах, пунктир – соответствующая диаграмма направленности одиночного излучателя

На рис.6 показано распределение амплитуды электрического поля в плоскости фрагмента решетки при возбуждении центрального излучателя на разных частотах.

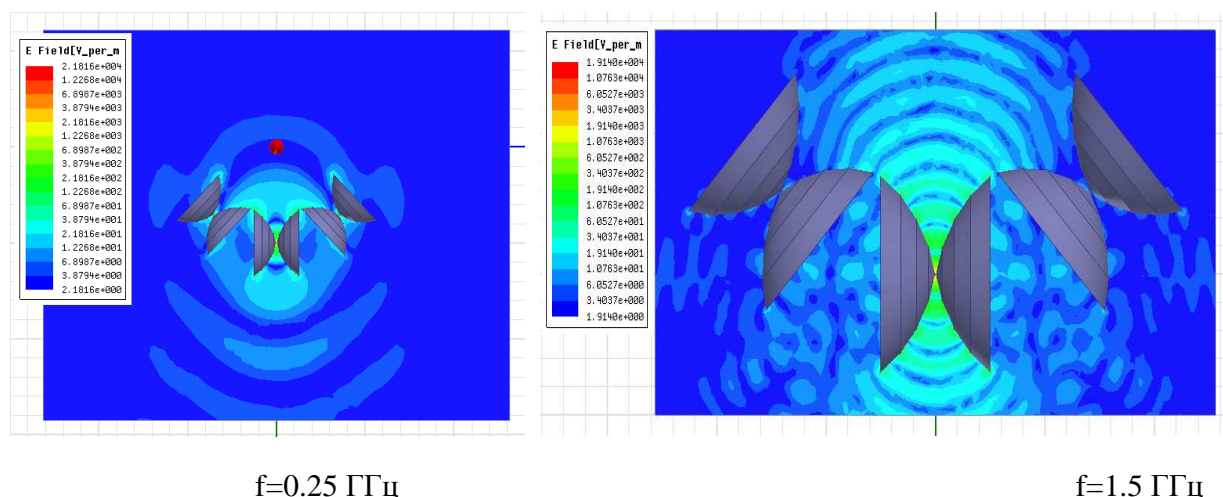


Рис.6. Распределение амплитуды электрического поля в плоскости решетки

На рис.6 виден результат взаимодействия соседних облучателей в ближней зоне. Как и следовало ожидать, наиболее сильно эффект взаимодействия проявляется между ближайшими кромками соседних элементов на нижних частотах. Аналогичная ситуация имеет место и в дальней зоне, как следует из результатов исследования влияния взаимодействия элементов фрагмента КАР на форму диаграммы направленности элемента (рис.5). Следует отметить, что даже на самой нижней частоте форма диаграммы направленности элемента остается вполне удовлетворительной в угловом секторе 45° - по азимуту, 180° - по углу места.

3. Исследование характеристик согласования

Ниже, на рис.7,8 приведены частотные зависимости коэффициента отражения двух вариантов одиночного излучателя, а на рис.9 - центрального элемента фрагмента КАР.

Штриховой линией на рис.9 показана частотная зависимость коэффициента отражения одиночного элемента. Моделирование коэффициента отражения проводилось методом конечных элементов.

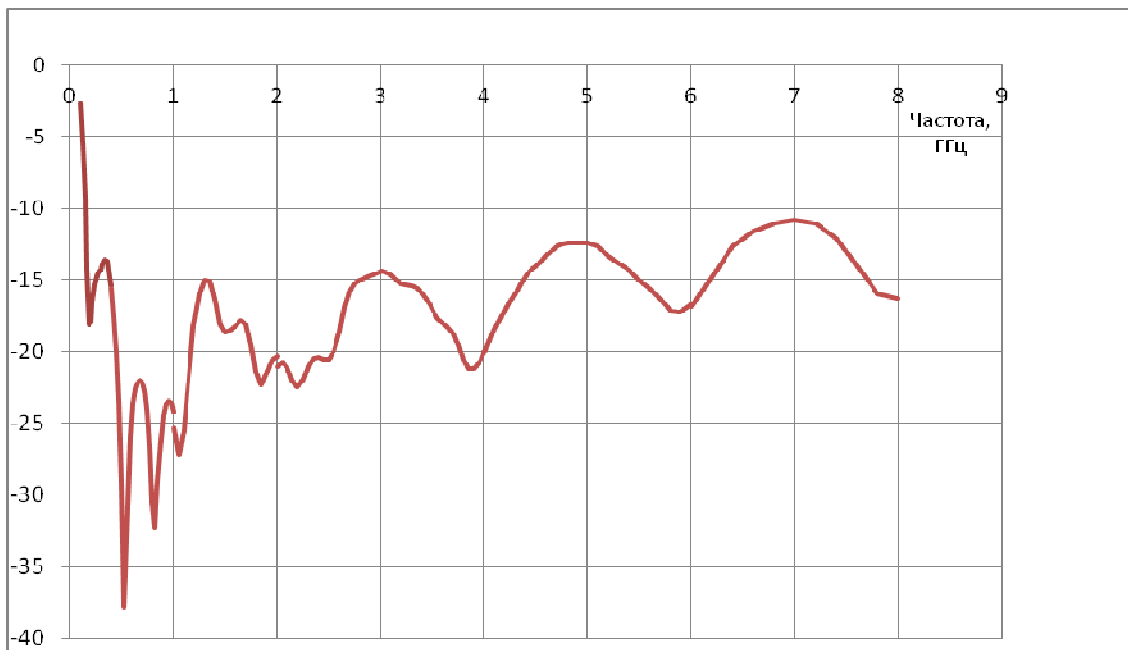


Рис.7. Частотная зависимость коэффициента отражения полностью металлизированного излучателя

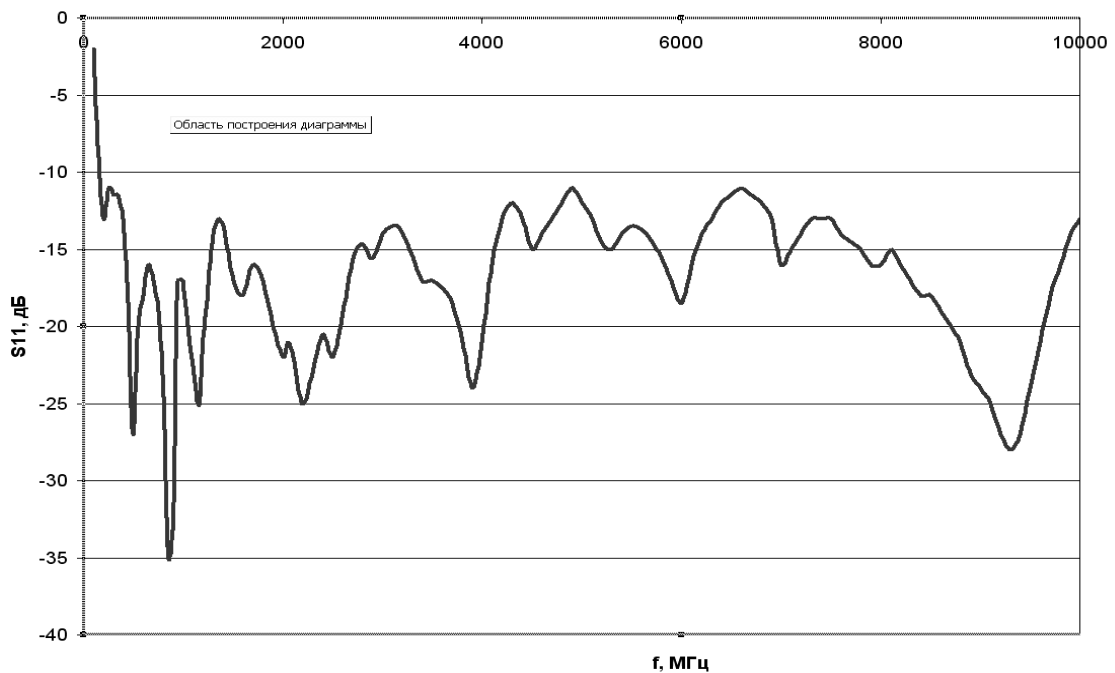


Рис.8. Частотная зависимость коэффициента отражения излучателя частично металлизированного излучателя

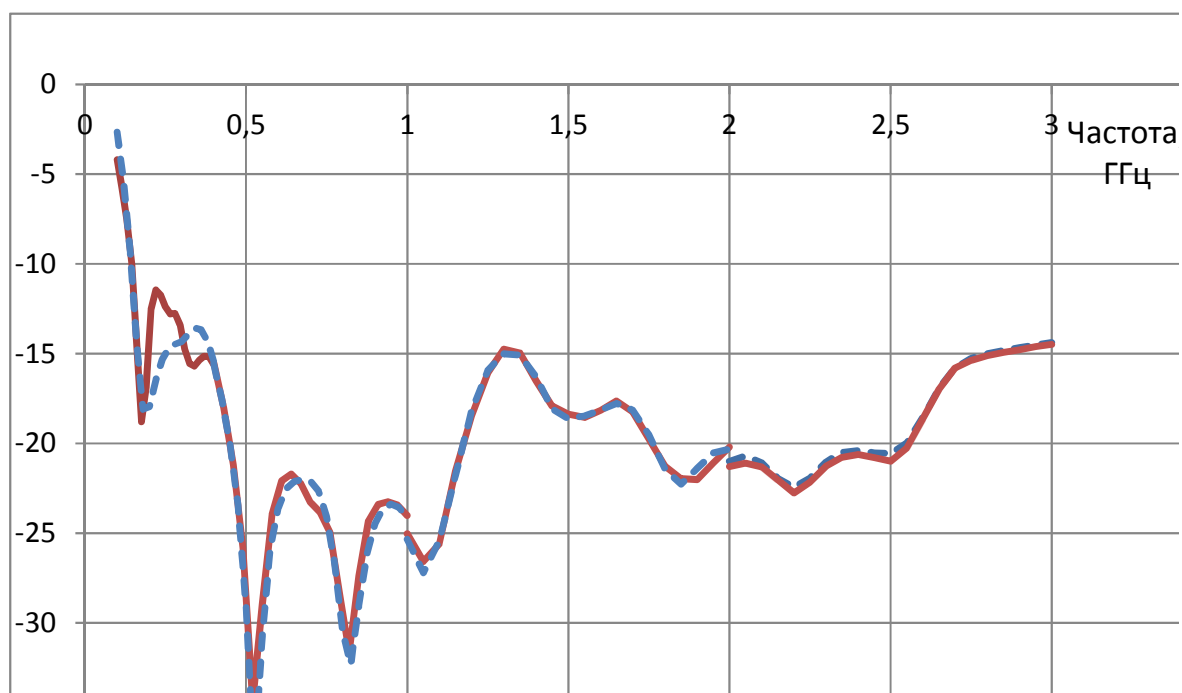


Рис.9. Частотная зависимость коэффициента отражения центрального элемента фрагмента КАР

Как видно из рисунков, наиболее сильно на характеристики согласования взаимодействие элементов влияет, как и на диаграммы направленности, на низких частотах. При этом влияние на коэффициент отражения оказывается несколько слабее и практически не сказывается на нижней частоте согласования по уровню - 10 дБ, которая во всех случаях примерно равна 150 МГц.

На рис. 10 приведена фотография макета частично металлизированного излучателя. Измеренная частотная зависимость коэффициента отражения макета приведена на рис.11.

Измерения проводились с использованием анализатора цепей HP 1820- РС. Как видно на рис.11, частотная зависимость коэффициента отражения экспериментального макета близка к расчетным характеристикам, показанным на рис.9,10.

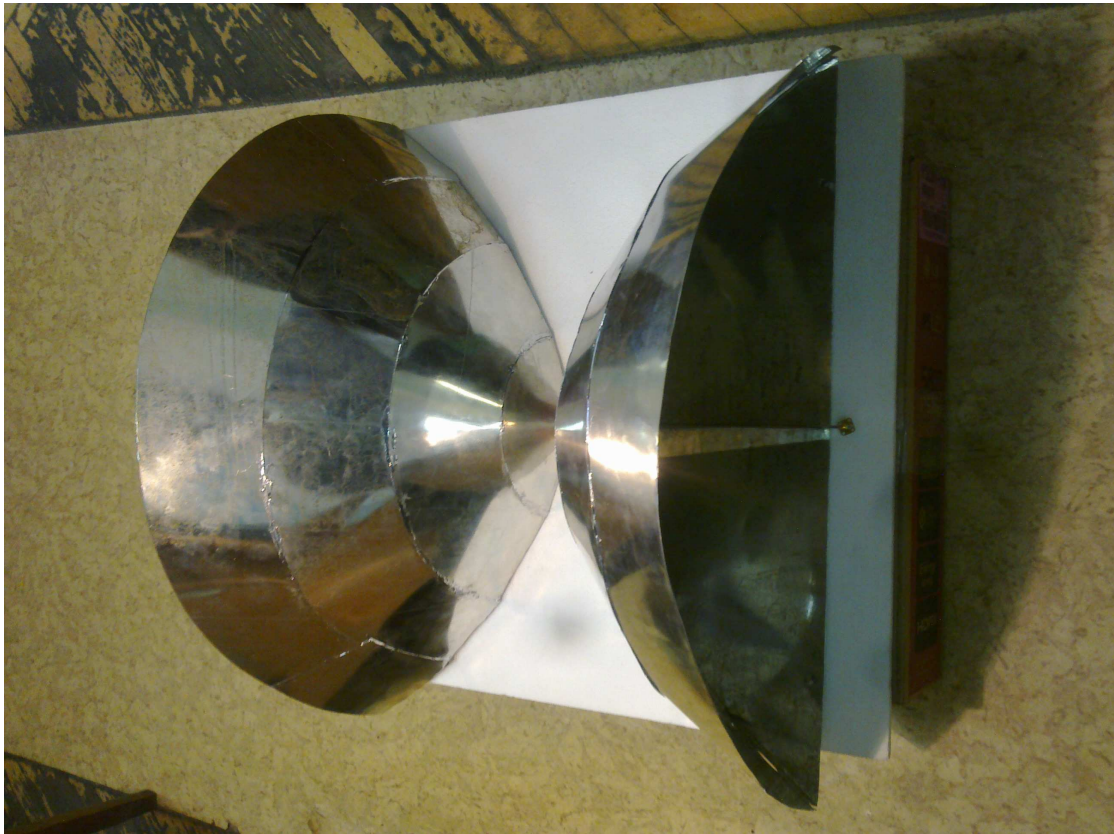


Рис.10. Макет элемента КАР.

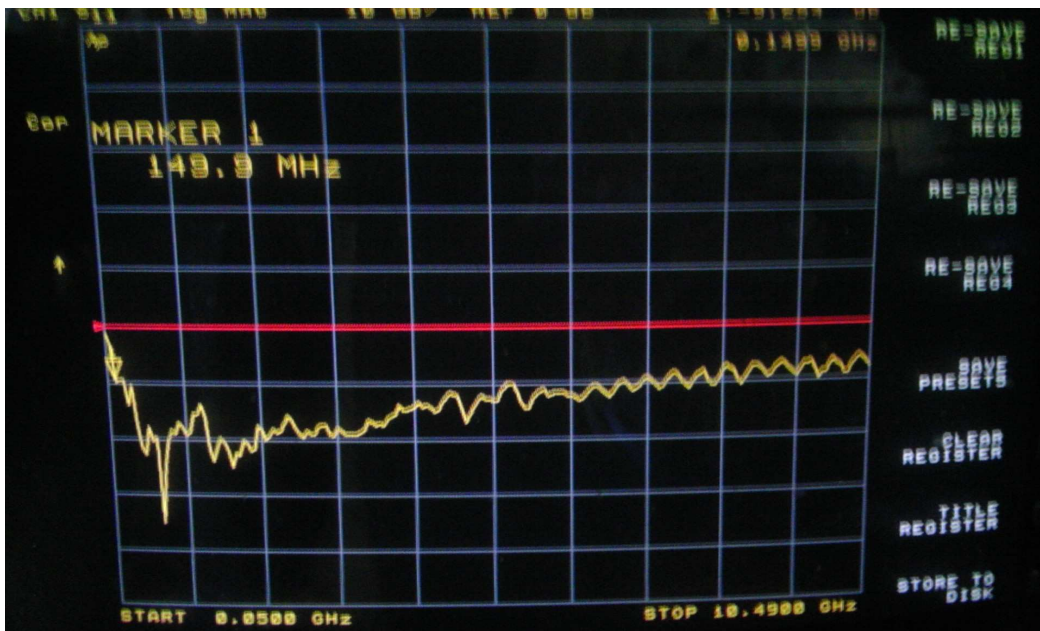


Рис.11. Экспериментальная зависимость коэффициента отражения элемента.

Заключение

Полученные в работе теоретические и экспериментальные результаты подтверждают возможность создания кольцевой антенной решетки для сканирования в полусфере в полосе частот порядка 1:100.

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, 486 с.
2. Рембовский Ю.А. Перспективные пути совершенствования антенных систем и математического обеспечения комплексов радиоконтроля. Антенны, 2012, вып.10, С.37-56.
3. Bialkowski M.E., Yifan Wang, Bakar A.A., Wee Chang Khor, UWB microwave imaging system including circular array antenna . 18th International Conference on Microwave Radar and Wireless Communications (MIKON), 14-16 June 2010.
4. Л.Бирюков, Н.А.Ефимова, В.И.Калиничев, В.А.Калошин, Л.И.Пангонис. Исследование сверхширокополосной кольцевой антенной решетки. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал] . 2013. №1. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jan13/20/text.pdf>
5. Bialkowski M.E., Abbosh A.M., Wang Y., Ireland D., Bakar A.A., Mohammed B.J. Microwave imaging systems employing cylindrical, hemispherical and planar arrays of ultrawideband antennas // Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC-2011), 5-8 Dec. 2011, Melbourne, pp. 191 – 194.
6. Дупленкова М.Д., Калошин В.А. Излучатель сверхширокополосной кольцевой антенной решетки для сканирования в полупространстве. Докл.

1 Всеросс. Микроволновой конф., 27-29 ноября 2013, М. ИРЭ им.
В.А.Котельникова РАН, С.384-387.

7. Калошин В.А., Мартынов Е.С., Скородумова Е.А. Исследование характеристик поликонической антенны в широкой полосе частот // РЭ, 2011, Т. 56, №9, С. 1094-1098.