

УДК 621.396.67

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СШП ПЛОСКИХ ДВУМЕРНО - ПЕРИОДИЧЕСКИХ РЕШЕТОК ТЕМ РУПОРОВ

В. А. Калошин^{1,2}, К. З. Нгуен²¹ Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
125009, Москва, ул. Моховая, 11-7² Московский физико-технический институт (государственный университет),
141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

Статья поступила в редакцию 21 мая 2017 г.

Аннотация. С использованием метода конечных элементов проведено численное моделирование характеристик согласования и излучения сверхширокополосных двумерно-периодических плоских ТЕМ решеток двух типов. Первый тип – решетка классических ТЕМ рупоров, второй – решетка ТЕМ рупоров с металлизацией части межрупорного пространства. Исследована бесконечная по двум декартовым координатам решетка и 36 элементная решетка (6x6 элементов). Показано, что синфазные бесконечные решетки обоих типов согласованы в полосе частот более 1:40, а синфазные 36-элементные – в полосе частот – более 1:10. В режиме сканирования полоса рабочих частот решеток сужается как за счет согласования, так и роста боковых лепестков, в результате чего полоса частот бесконечной решетки первого типа сохраняется только в секторе 45x15 градусов, у решетки второго типа – только в секторе 30x30 градусов, где первый угол относится к Е плоскости, а второй – к Н плоскости. У 36 элементной решетки первого типа полоса согласования сохраняется только при сканировании 15 градусов в Е - плоскости, а решетки второго типа - в секторе 30x30 градусов. Особое внимание в работе уделено анализу бокового и заднего излучения решеток, возрастание которых ограничивает полосу рабочих частот решеток.

Ключевые слова: СШП антенны, плоские антенные решетки, двумерно – периодические решетки, сканирование, заднее излучение.

Abstract. Using the finite element method a numerical study of the matching and radiation characteristics of two types of UWB two-dimensional periodic planar arrays of

TEM horns is conducted. The first type is regular TEM horn array, the second type is array of TEM horns with the partially metallization space between the horns. An infinite two dimensional planar array and a 36-element array (6x6 elements) are investigated. It is shown that two types of infinite planar in-phase arrays are matched in the frequency bandwidth more than 1:40, and 36-element array - in the frequency bandwidth more than 1:10. At the scanning regime the operating frequency bandwidth of the arrays is narrowed both by matching and growth of the side lobes, as a result of which the frequency bandwidth of the infinite array of the first type is retained only in the sector of 90x30 degrees, the infinite array of the second type only in the sector of 60x60 degrees, where the first angle refers to E plane, and the second - to H plane. For the 36-element array of the first type, the frequency bandwidth is retained scanning range of 30 degrees in E – plane, and for the 36-element array of the second type the frequency bandwidth is retained in the scanning sector of 60x60 degrees. Special attention is paid to analysis of side lobes and backward radiation of the arrays, the increase of which limits the operating frequency bandwidth of the arrays.

Key words: UWB antennas, planar antenna array, two-dimensional array, scanning, backward radiation.

Введение

Задачу реализации большого усиления с высоким значением коэффициента использования поверхности (КИП) в полосе частот более 1:10 можно решить, используя рупорно-линзовые и зеркально-рупорные системы [1, 2]. Однако габаритные размеры и вес антенны при этом существенно увеличиваются, а величина коэффициента использования размеров (КИР), определенная в [3], уменьшается. Альтернативный метод увеличения усиления заключается в использовании антенных решеток, в том числе линейных [4-7], кольцевых [6-9], цилиндрических [10, 11] и плоских [12-25].

В работах [5, 6, 23, 26, 27] показано, что взаимная связь между элементами решетки может приводить к существенному уменьшению коэффициента отражения

по сравнению с одиночным элементом. В работе [27] был исследован экспериментальный образец решетки антенн Вивальди с полосой 1:10. Было показано, что такие решетки в активном режиме могут сканировать в полосе частот 1:8 в секторе углов отклонения луча $\pm 45^\circ$. В работе [28] было показано, что решетки антенн Вивальди могут быть использованы в качестве кластерных облучающих систем сверхширокополосных (СШП) гибридных зеркальных и линзовых антенн.

Решетки ТЕМ рупоров исследовались в работах. Для подавления заднего излучения решеток в работах [12, 19] использовали металлический экран. При этом, однако, возникли проблемы согласования решеток [12].

Целью данной работы является исследование характеристик согласования и излучения двумерно-периодических плоских решеток ТЕМ рупоров в двух крайних случаях: в случае бесконечной по двум координатам решетки и в случае малоэлементной (36-элементной) решетки. При исследовании характеристик излучения внимание будет, в первую очередь, уделено анализу уровня бокового и заднего излучения решеток, которые, наряду с согласованием, ограничивают полосу рабочих частот. Исследование решеток проведем с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

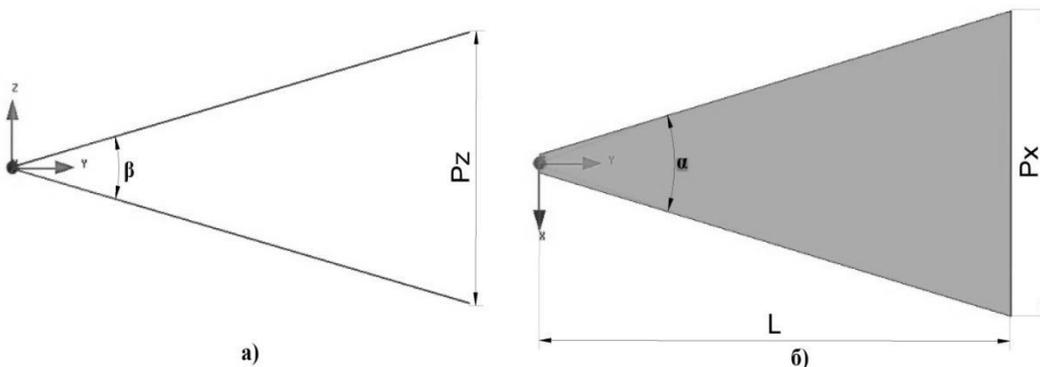


Рис. 1. Регулярный ТЕМ рупор

Рассмотрим два типа элементов решетки, проекции которых в Е плоскости показаны на рисунках 1а – 2а, а на рисунках 1б – 2б – в Н плоскости. Первый элемент является классическим (регулярным) ТЕМ рупором, его геометрия характеризуется тремя параметрами: длиной L , углом α при вершине равнобедренного треугольника, ограничивающего плоские проводящие поверхности

рупора и углом β между этими поверхностями (см. рис. 1), которые определяются нижней частотой согласования и входной импеданс рупора. Другой тип элемента решетки является ТЕМ рупором с металлизацией части пространства в Е – плоскости (см. рис. 2). Решетку классических ТЕМ рупоров, которую далее будем называть решетка 1, а решетку ТЕМ рупоров с металлизацией – решетка 2.

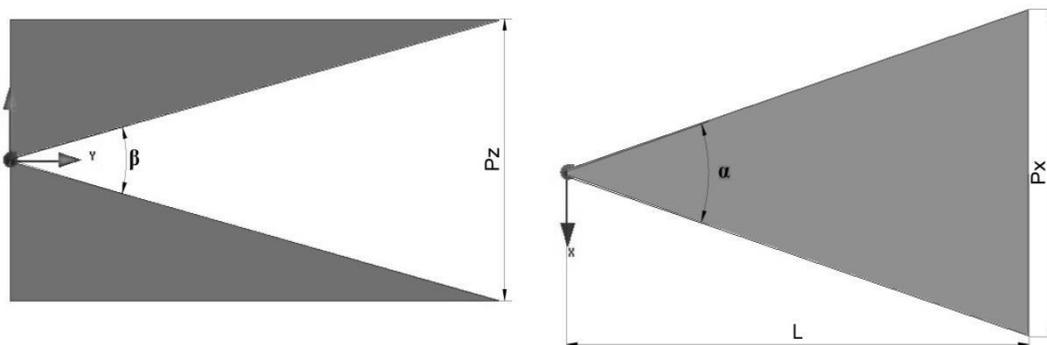


Рис. 2. Регулярный ТЕМ рупор с металлизацией

1. Исследование характеристик бесконечных решеток

На первом этапе исследуем бесконечные синфазные решетки. Угол рупора в Е плоскости выберем малым ($\beta = 7.5^0$), поскольку уменьшение нижней частоты полосы согласования в решетках за счет взаимодействия происходит при достаточно большой длине элементов [5,6, 23, 26, 27]. Выберем угол $\alpha = 10^0$ из условия компромисса соизмеримости периодов решетки в Е и Н плоскости с одной стороны и не очень высоких значений импеданса – с другой стороны. Длину выберем для определенности равной 150 мм, при этом периоды решетки в Е и Н плоскости $Pz = 20$ мм и $Px = 30$ мм, соответственно, импеданс регулярного ТЕМ рупора $Z_{вх} = 150$ Ом, а ТЕМ рупора с металлизацией $Z_{вх} = 75$ Ом. Питание элементов в решетках осуществляется симметричной двухпроводной микрополосковой линией с импедансом равным импедансу соответствующего ТЕМ рупора.

На рис. 3 кривой 1 показана зависимость от частоты коэффициента отражения решетки 1, кривой 2 – решетки 2. На рис. 3 видно, что обе решетки по уровню -10 дБ согласованы во всей исследованной полосе частот (0.2 – 8 ГГц), т.е. полоса согласования составляет более 1:40.

На рис. 4 в тех же обозначениях показана зависимость отношения прямой и обратной волны канала Флоке исследуемых решеток от частоты. На рисунке видно, что это отношение для бесконечной решетки 1 находится на уровне 7 дБ, а для бесконечной решетки 2 – на уровне 6 дБ.

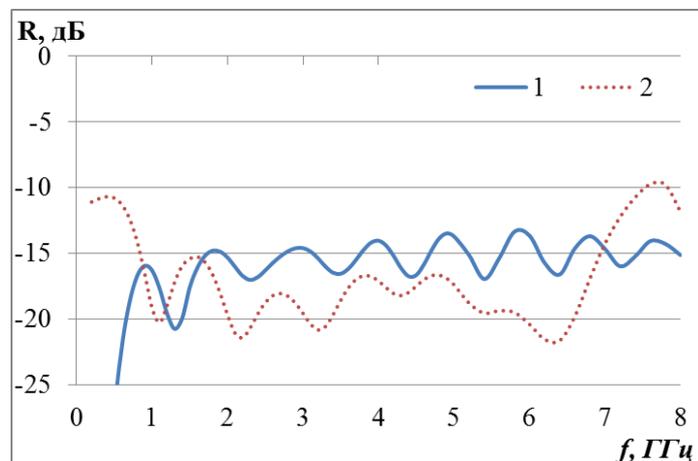


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения бесконечной двумерно - периодической плоской синфазной решетки от частоты

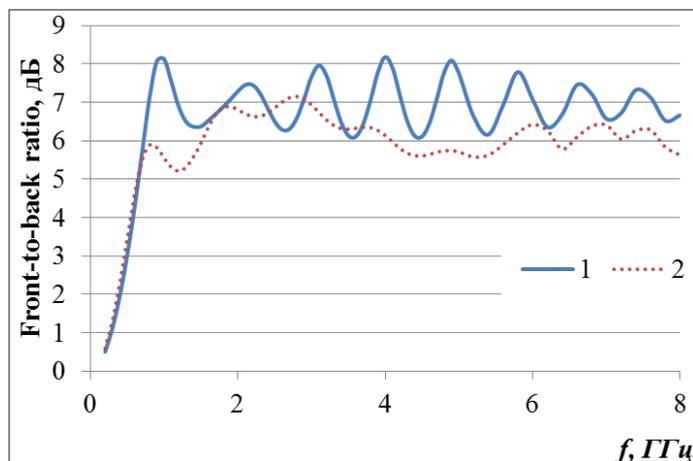


Рис.4 . Зависимость отношения прямой и обратной волны канала Флоке бесконечной двумерно – периодической плоской синфазной решетки от частоты

Далее проведем исследование характеристик сканирования бесконечных плоских двумерно – периодических решеток в полосе частот 0.2 – 8 ГГц. На рис. 5 пунктирной линией показаны зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в Е – плоскости бесконечной решетки 1 при отклонении луча от нормали $\pm 15^\circ$; штриховой - при отклонении луча от нормали $\pm 30^\circ$; штрих - пунктирной - при отклонении луча от нормали $\pm 45^\circ$, а сплошной линией - бесконечной синфазной решетки 1. На рис. 6 в тех же обозначениях приведены зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в Н – плоскости бесконечной решетки 1.

На рис. 5, 6 видно, что при отклонении луча на $\pm 15^\circ$ в Н – плоскости характеристика согласования практически не ухудшается по сравнению с синфазной решеткой. Такая же ситуация имеет место при сканировании луча в Е- плоскости в угловых пределах $\pm 45^\circ$.

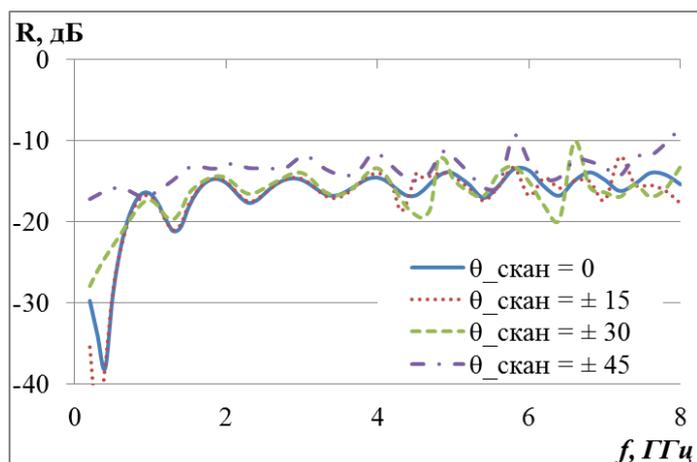


Рис. 5. Зависимости коэффициента отражения сканирующей в E – плоскости бесконечной решетки 1 от частоты

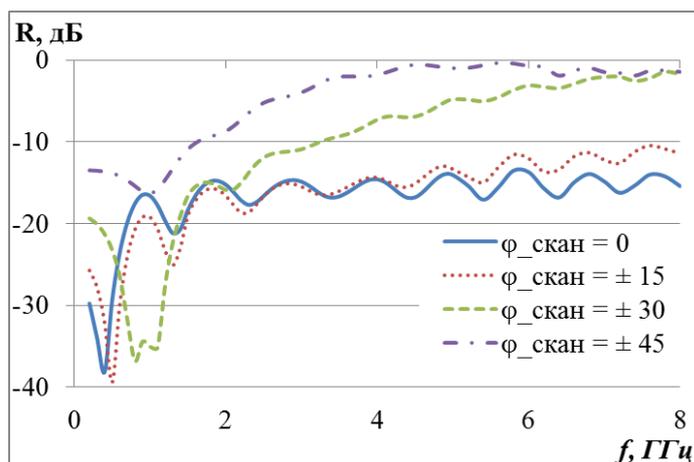


Рис. 6. Зависимости коэффициента отражения сканирующей в H – плоскости бесконечной решетки 1 от частоты

На рис. 7 показаны зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в двух плоскостях бесконечной решетки 1. На рисунке видно, что бесконечная двумерно – периодическая решетки 1 согласована во всей исследованной полосе частот при одновременном сканировании в двух плоскостях (в E – плоскости в пределах $\pm 45^\circ$ и в H-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$).

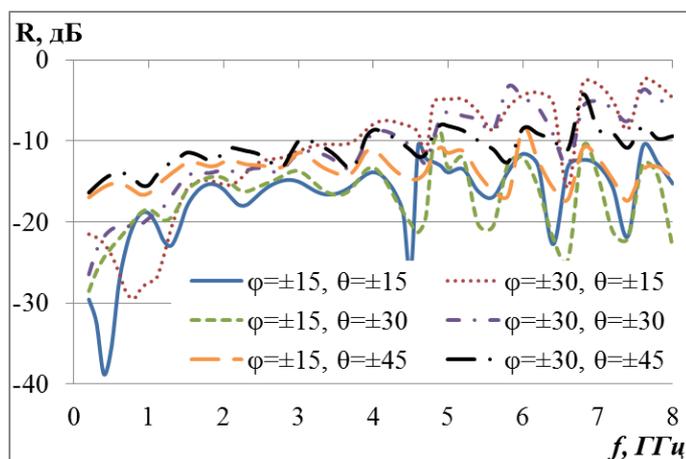


Рис. 7. Зависимости коэффициента отражения сканирующей в двух плоскостях бесконечной решетки 1 от частоты

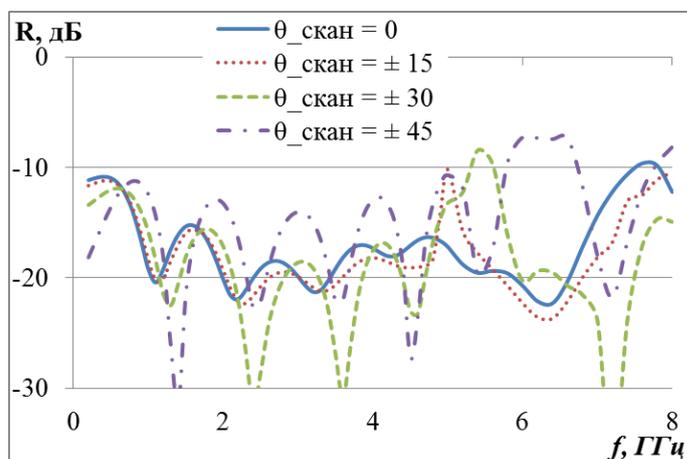


Рис. 8. Зависимости коэффициента отражения сканирующей в E – плоскости бесконечной решетки 2 от частоты

На рис. 8 пунктирной линией показана зависимость коэффициента отражения от частоты сканирующей в E – плоскости бесконечной решетки 2 при отклонении

луча от нормали $\pm 15^\circ$; штриховой - при отклонении луча от нормали $\pm 30^\circ$; штрих - пунктирной - при отклонении луча от нормали $\pm 45^\circ$, а сплошной линией - бесконечной синфазной решетки 2. На рис. 9 в тех же обозначениях приведены зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в Н – плоскости бесконечной решетки 2. На рис. 8, 9 видно, что бесконечная решетка 2 при отклонении луча на $\pm 15^\circ$ в Е – или в Н - плоскости характеристика согласована во всей исследованной полосе частот. При сканирование в секторе $\pm 45^\circ$ в Е- плоскости решетка согласована в полосе частот от 0.2 – 5.4 ГГц (1:27). Интересные результаты получились у бесконечной решетки 2 при сканировании в Н – плоскости (см. рис. 9). На рис. 9 видно, что нижняя граница согласования бесконечной решетки 1 увеличивается до 0.5 ГГц и 0.8 ГГц при отклонении луча в Н – плоскости на $\pm 30^\circ$ и $\pm 45^\circ$, соответственно, при этом верхняя граница согласования в исследованной полосе частот отсутствует в полосе исследованных частот.

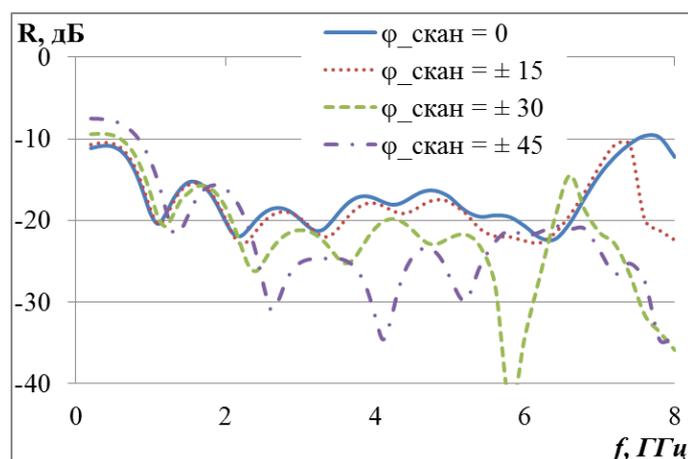


Рис. 9. Зависимости коэффициента отражения сканирующей в Н – плоскости бесконечной решетки 2 от частоты

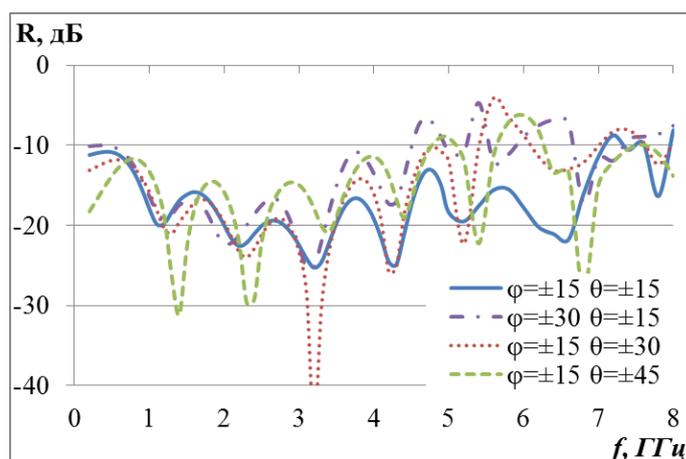


Рис. 10. Зависимости коэффициента отражения сканирующей в двух плоскостях бесконечной решетки 2 от частоты

На рис. 10 показаны зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в Е – и Н – плоскостях бесконечной двумерно - периодической решетки 2. В этом случае можно отметить, что полоса согласования бесконечной решетки 2 также не меняется и при одновременном сканировании в двух плоскостях

(в Е – плоскости в пределах $\pm 15^\circ$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$). При одновременном сканировании в двух плоскостях в Е – плоскости в пределах $\pm 30^\circ$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$ или в Е – плоскости в пределах $\pm 45^\circ$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$, характеристика согласования бесконечной решетки 2 ухудшается по сравнению с бесконечной решетки 1, и ее полоса согласования по уровню -10 дБ становится 0.2 – 5.6 ГГц и 0.2 – 4.8 ГГц, соответственно.

2. Исследование характеристик 36 элементных решеток

В этом разделе исследуем характеристики согласования и излучения плоской двумерно – периодической синфазной решетки 6x6 классических ТЕМ рупоров, далее решетка 3, и плоской двумерно – периодической синфазной решетки 6x6 ТЕМ рупоров с металлизацией, далее решетка 4.

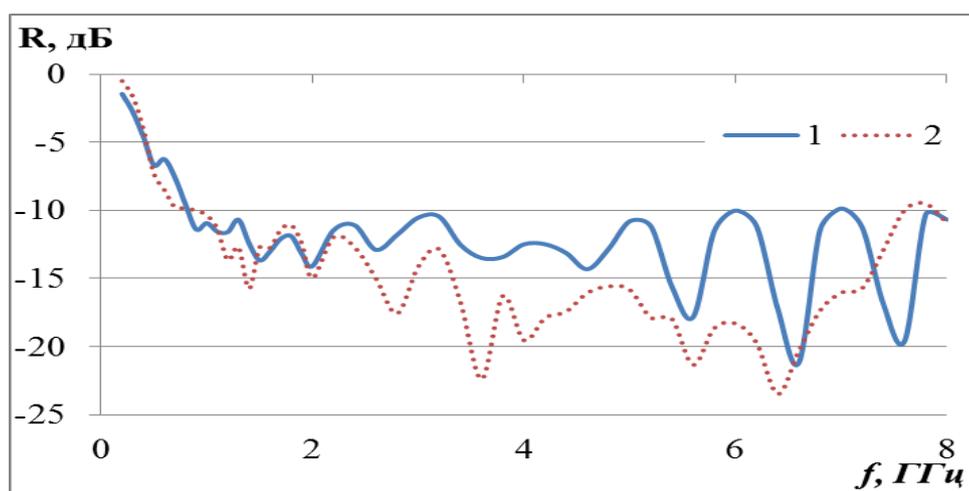


Рис. 11. Зависимости коэффициента отражения плоских двумерно – периодических синфазных решеток 6x6 элементов от частоты

На рис. 11 кривой 1 показана зависимость коэффициента отражения решетки 3 от частоты, а кривой 2 – решетки 4. На рисунке видно, что коэффициент отражения решетки 3 не превышает уровень -10дБ в полосе частот от 0.8 до 8 ГГц, а у решетки 4 – в полосе частот от 0.7 до 8 ГГц, т. е. более 1:10.

На рис. 12 приведены диаграммы направленности в Е - плоскости решетки 3 на частотах: 1 ГГц – сплошной кривой, 3 ГГц – пунктирной, 5 ГГц – штриховой, 8 ГГц – штрих-пунктирной. На рис. 13 в тех же обозначениях приведены диаграммы

направленности в E - плоскости решетки 4 на тех же частотах. На рис. 14, 15 в тех же обозначениях проведены диаграммы направленности в H - плоскости описанных выше решеток на частотах 1, 3, 5 и 8 ГГц, соответственно.

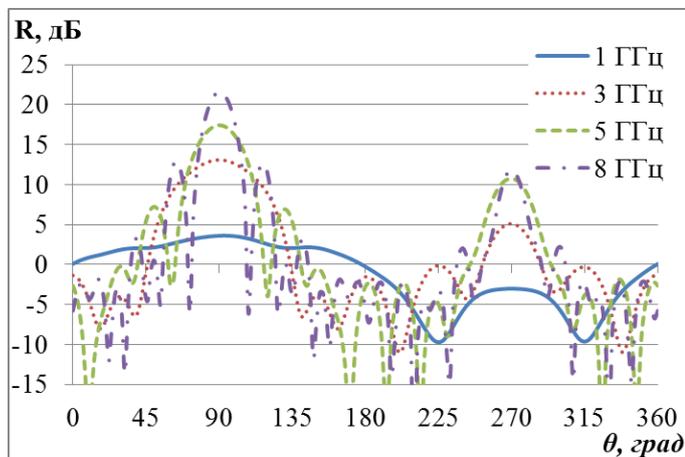


Рис. 12. Диаграммы направленности решетки 3 в E – плоскости при $\varphi = 90^0$

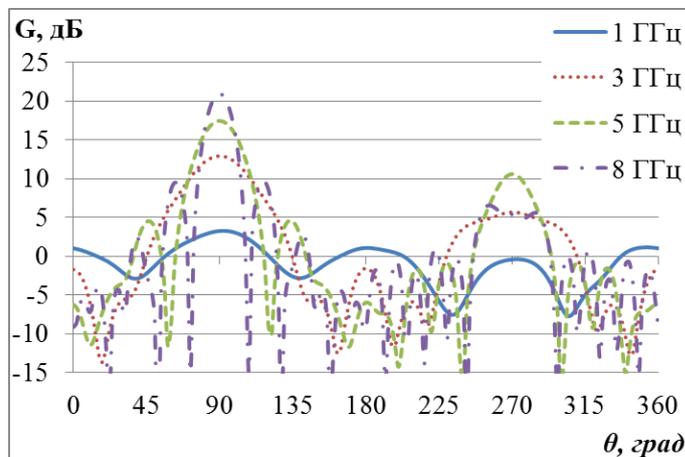


Рис.13. Диаграммы направленности решетки 4 в E – плоскости при $\varphi = 90^0$

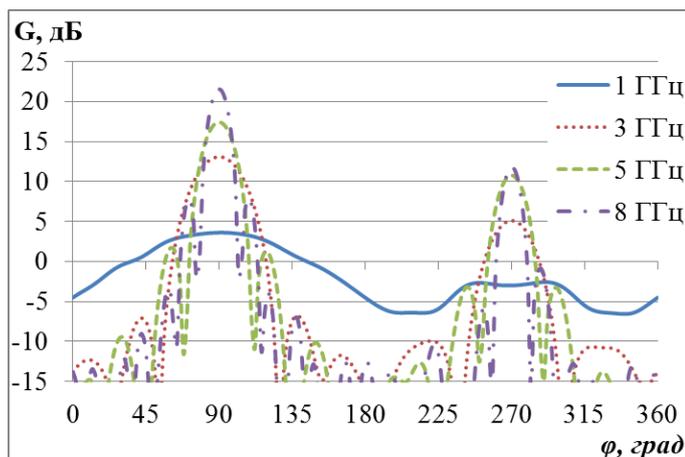


Рис. 14. Диаграммы направленности решетки 3 в H – плоскости при $\theta = 90^0$

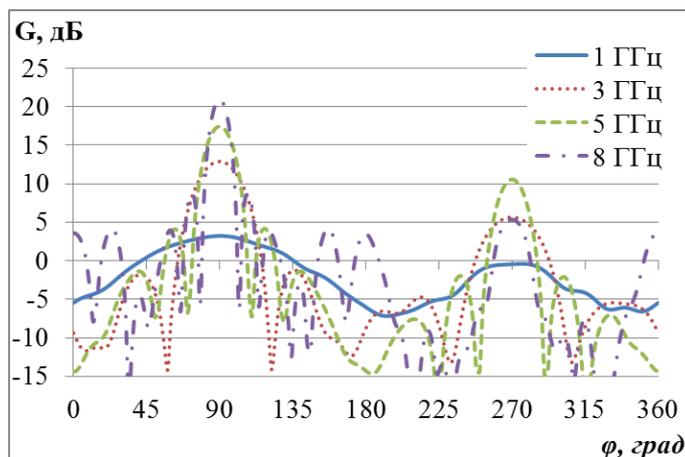


Рис. 15. Диаграммы направленности решетки 4 в H – плоскости при $\theta = 90^0$

На рис. 12, 13 видно, что на высоких частотах в диаграммах направленности двух решеток в E - плоскости наблюдается сильный рост уровня боковых лепестков. И уровень первого лепестка в E – плоскости решетки 3 на частоте 8 ГГц (при $Rz/\lambda = 0.53$) составляет -9 дБ, а у решетки 4 на той же частоте -11 дБ. При этом уровень заднего лепестка решетки 3 – 9.8 дБ, а решетки 4 – 15.5 дБ

Несколько лучшая ситуация имеет место в Н – плоскости. Уровень первого лепестка решетки 3 на частоте 8 ГГц составляет -13.8 дБ, а у решетки 4 на той же частоте -12.3 дБ.

Зависимость усиления от частоты решетки 3 показана на рис. 16 кривой 1, а решетки 4 - кривой 2. Кривой 3 приведена аналогичная зависимость для соответствующего синфазного раскрыва с равномерным амплитудным распределением. На рис. 17 в таких же обозначениях приведены зависимости отношения излучения вперед / назад решеток.

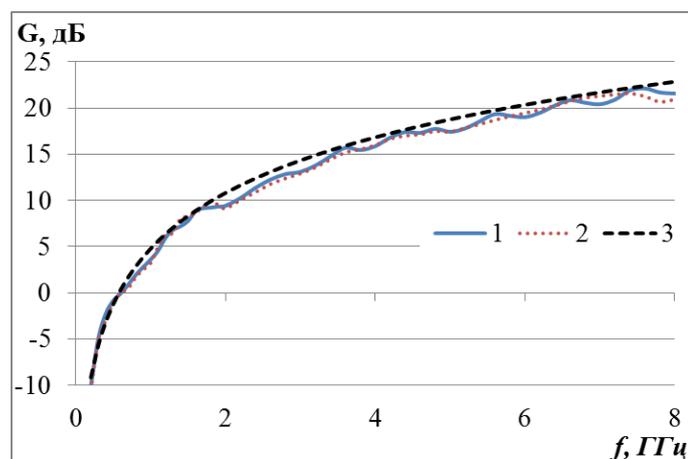


Рис. 16. Зависимость коэффициента усиления решеток от частоты

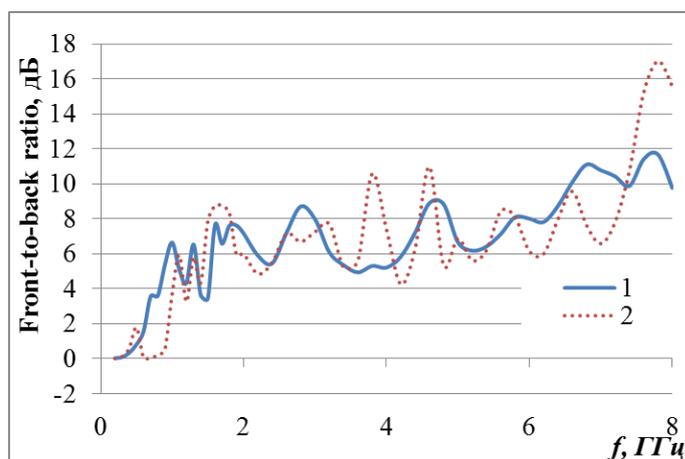


Рис. 17. Зависимость отношения излучения вперед / назад решеток от частоты

На рис. 16 видно, что коэффициент усиления описанных выше решеток монотонно растет с частотой и отличается от максимального коэффициента усиления на 1.3 дБ, что говорит о высоком коэффициенте использования (КИП). При этом отношение излучения вперед / назад у двух конечных решеток 3 и 4 сначала растет с частотой, а затем стабилизируется на уровне около - 7.5 дБ. Увеличенный уровень заднего излучения решетки 3 можно объяснить возбуждением обратной волны в междуэлементном пространстве, а решетки 4 – возбуждением и излучением элементов металлизации.

Дальше исследуем характеристики согласования и излучения сканирующей решетки 3 и сканирующей решетки 4. На рис. 18 сплошной линией показана зависимость коэффициента отражения от частоты сканирующей в Е – плоскости

решетки 3 при отклонении луча от нормали $\pm 15^\circ$; пунктирной - при отклонении луча от нормали $\pm 30^\circ$; штриховой при отклонении луча от нормали $\pm 45^\circ$. На рис. 19 в тех же обозначениях проведены зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в Н – плоскости решетки 3.

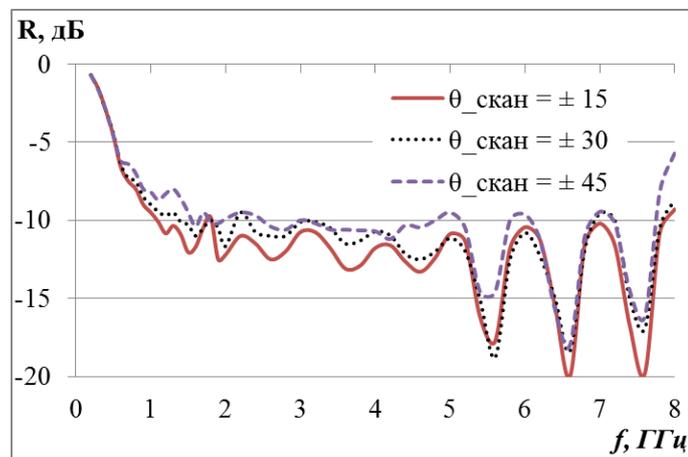


Рис. 18. Зависимость коэффициента отражения сканирующей в Е – плоскости решетки 3 от частоты

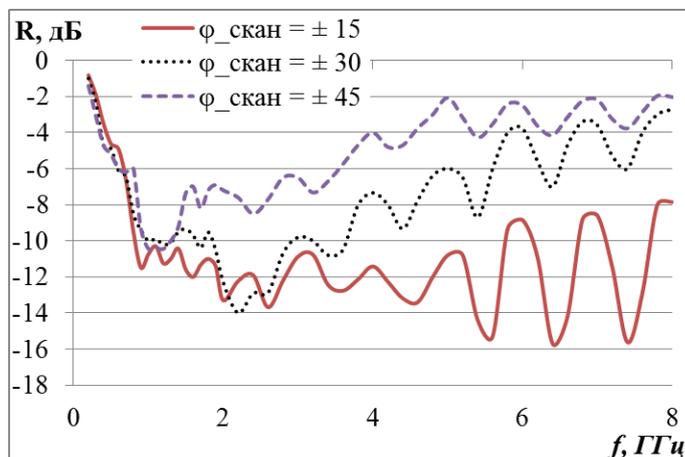


Рис. 19. Зависимость коэффициента отражения сканирующей в Н – плоскости решетки 3 от частоты

На рис. 18 видно, что при отклонении луча от нормали в Е - плоскости нижняя граница согласования по уровню -10 дБ движется направо по частоте, в результате решетка 3 обеспечивает сканирование в пределах $\pm 15^\circ$ от нормали в Е- плоскости в полосе частот 1 – 7.8 ГГц (1:7.8), в пределах $\pm 30^\circ$ в Е - плоскости 1.2 – 7.8 ГГц (1:6.5), а в пределах $\pm 45^\circ$ в Е - плоскости 1.5 – 7.6 ГГц (1:5). На рис. 19 видно, при отклонении луча в Н – плоскости на $\pm 15^\circ$ решетка 3 согласована в полосе частот от 0.8 – 5.8 ГГц (1:7).

На рис. 20 показаны зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в двух плоскостях решетки 3. На рис. 20 видно, что полоса согласования по уровню -10 дБ решетки 3 при одновременном сканировании в двух плоскостях (в Е – плоскости в пределах $\pm 15^\circ$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$) – 1.1:6.8 ГГц (1:6), а при одновременном сканировании в двух плоскостях (в Е – плоскости в пределах $\pm 30^\circ$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$) полоса согласования становится 1.4:6.8 ГГц (1:4.8).

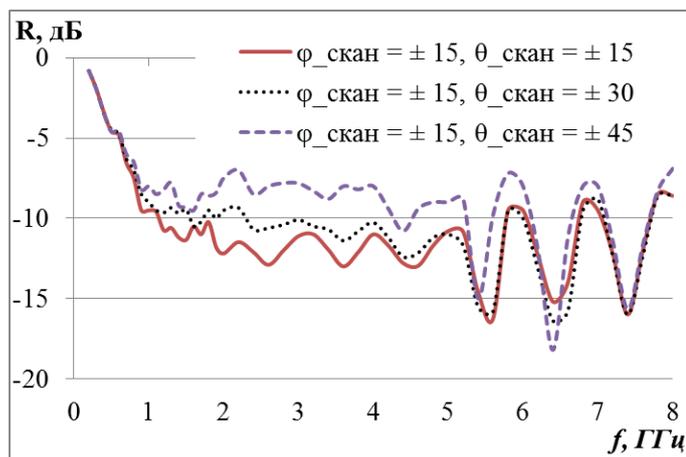


Рис. 20. Зависимость коэффициента отражения сканирующей в двух плоскостях решетки 3 от частоты

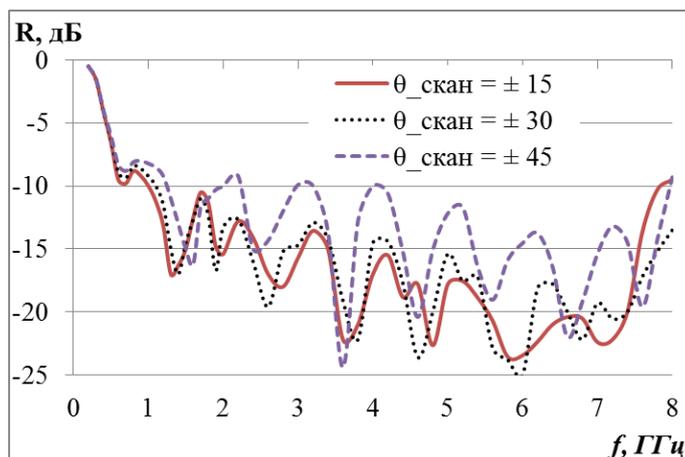


Рис. 21. Зависимость коэффициента отражения сканирующей в E – плоскости решетки 4 от частоты

Далее проведено исследование зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей решетки 4. На рис. 21 сплошной кривой показана зависимость коэффициента отражения от частоты сканирующей в E – плоскости решетки 4 при отклонении луча от нормали $\pm 15^\circ$; пунктирной - при отклонении луча от нормали $\pm 30^\circ$; штрих-пунктирной - при отклонении луча от нормали $\pm 45^\circ$. На рис. 22 в тех же обозначениях проведены зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в H – плоскости решетки 4.

На рис. 21 видно, что при отклонении луча в E - плоскости от нормали нижняя граница согласования решетки 4 по уровню -10 дБ движется вверх по частоте, при этом нижняя граница согласования сканирующей в E - плоскости решетки 4 при отклонении луча от нормали на $\pm 15^\circ$, $\pm 30^\circ$ и $\pm 45^\circ$ становится 1, 1.1 и 1.3 ГГц, соответственно. Отметим, что нижняя граница согласования синфазной решетки 4 составляет 0.7 ГГц.

При сканировании луча в H – плоскости решетка 4 обеспечивает меньшую величину коэффициента отражения в полосе частот по сравнению с решеткой 3. При этом нижняя граница согласования сканирующей в H – плоскости решетки 4 при отклонении луча от нормали на $\pm 15^\circ$ и $\pm 30^\circ$ такая же как у синфазной решетки, при отклонении луча от нормали на $\pm 45^\circ$ нижняя граница согласования сканирующей в H – плоскости решетки 4 становится 0.9 ГГц..

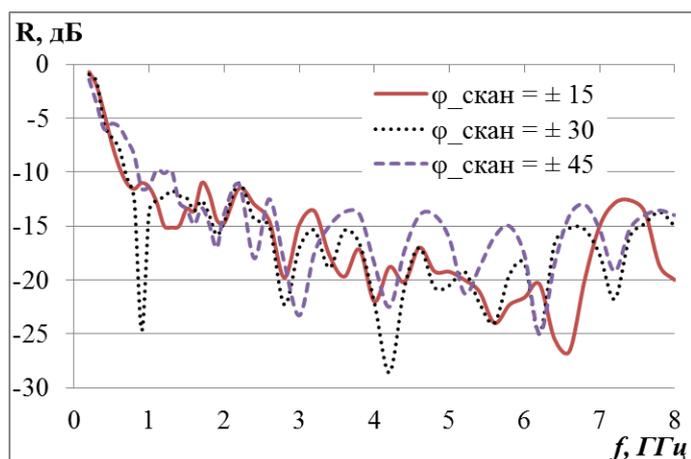


Рис. 22. Зависимость коэффициента отражения сканирующей в Н – плоскости решетки 4 от частоты

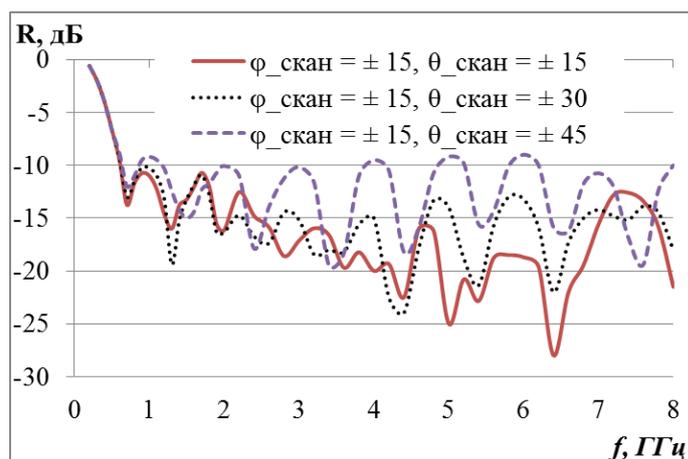


Рис. 23. Зависимость коэффициента отражения сканирующей в двух плоскостях решетки 4 от частоты

На рис. 23 показаны зависимости коэффициента отражения от частоты сканирующей в двух плоскостях решетки 4. На рис. 23 видно, что полоса согласования решетки 4 практически сохраняется и при одновременном сканировании в двух плоскостях (в Е – плоскости в пределах $\pm 30^\circ$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$), а при одновременном сканировании в двух плоскостях (в Е – плоскости в пределах $\pm 45^\circ$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^\circ$) полоса согласования решетки 4 становится 1.1: 5 ГГц, т. е в полосе частот 1:4.5.

Далее приведены характеристики излучения сканирующих решеток. На рис. 24 приведены диаграммы направленности сканирующей в Е - плоскости решетки 3 на частоте 4 ГГц при отклонении луча от нормали $\pm 15^\circ$ – пунктирной линией, $\pm 30^\circ$ – штриховой, $\pm 45^\circ$ – штрих-пунктирной, а синфазной решетки 3 – сплошной линией. На рис. 25, 26 в тех же обозначениях приведены диаграммы направленности сканирующей в Е - плоскости решетки 3 на частоте 6 ГГц и 7.5 ГГц, соответственно.

На рис. 24, 25 и 26 можно видеть, что при сканировании в Е – плоскости в пределах углов $\pm 45^\circ$ коэффициент усиления решетки 3 практически не падает, при этом немного падает уровень заднего лепестка на 2 – 3 дБ.

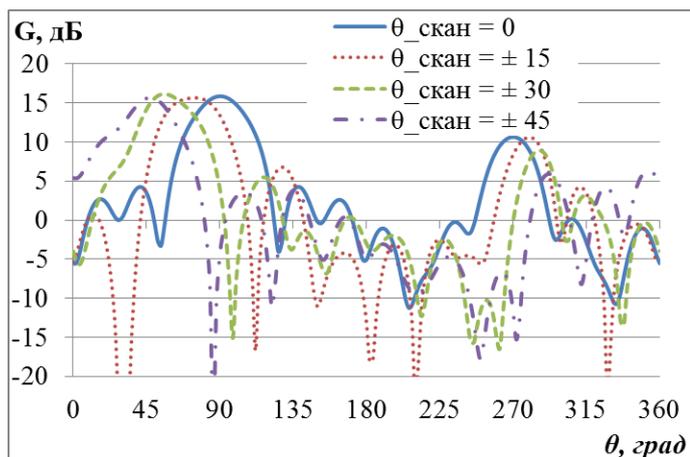


Рис. 24. Диаграммы направленности сканирующей в E – плоскости решетки 3 на частоте 4 ГГц при $\varphi = 90^0$

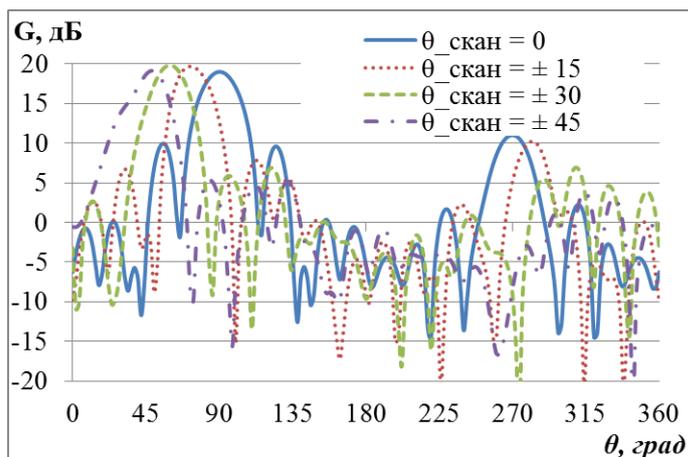


Рис. 25. Диаграммы направленности сканирующей в E – плоскости решетки 3 на частоте 6 ГГц при $\varphi = 90^0$

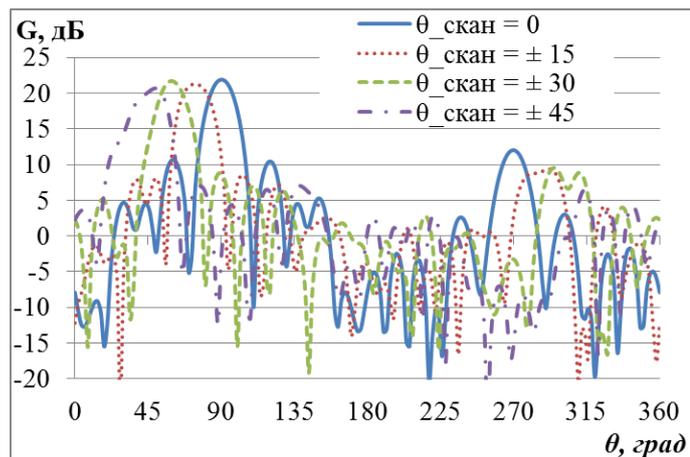


Рис. 26. Диаграммы направленности сканирующей в E – плоскости решетки 3 на частоте 7.5 ГГц при $\varphi = 90^0$

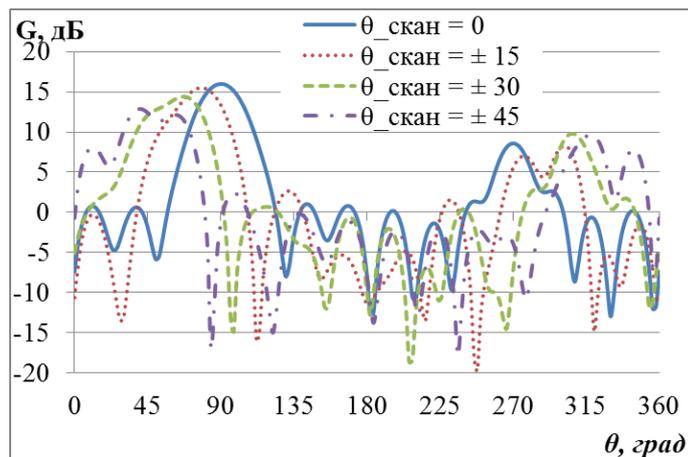


Рис. 27. Диаграммы направленности сканирующей в E – плоскости решетки 4 на частоте 4 ГГц при $\varphi = 90^0$

На рис. 27, 28 и 29 Рис. можно видеть, что при сканировании в E – плоскости в пределах углов $\pm 45^0$ усиление решетки 4 немного падает, при этом уровень заднего лепестка остается на том же уровне как у синфазной решетки 4.

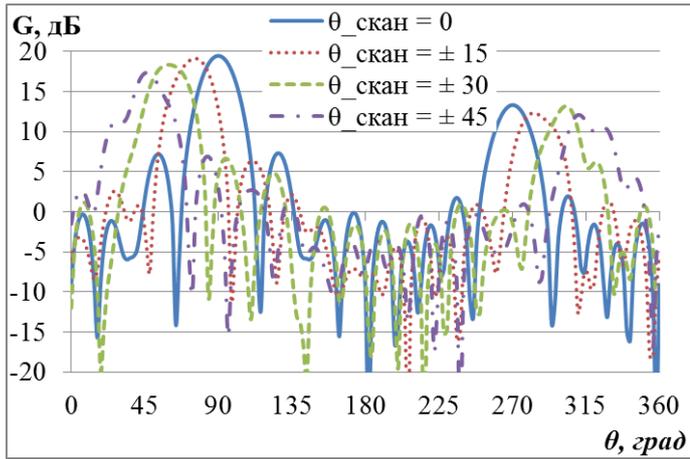


Рис. 28. Диаграммы направленности сканирующей в E – плоскости решетки 4 на частоте 6 ГГц при $\varphi = 90^\circ$

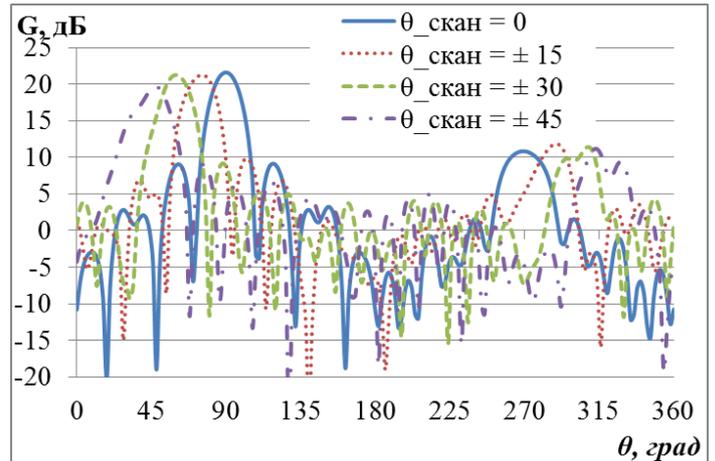


Рис. 29. Диаграммы направленности сканирующей в E – плоскости решетки 4 на частоте 7.5 ГГц при $\varphi = 90^\circ$

На рис. 30 приведены диаграммы направленности сканирующей в H – плоскости решетки 3 на частоте 4 ГГц при отклонении луча от нормали $\pm 15^\circ$ – пунктирной линией, $\pm 30^\circ$ – штриховой, сплошной линией – синфазной решетки 3. На рис. 31, 32 в тех же обозначениях приведены диаграммы направленности сканирующей в H – плоскости решетки 4 на частоте 6 ГГц и 7.5 ГГц, соответственно.

На рис. 30, 31, и 32 видно, что в отличие от сканирования в E – плоскости решетки 3, при сканировании в H – плоскости в пределах $\pm 30^\circ$ от нормали уровень заднего лепестка не падает. Падает коэффициент усиления при сканировании в H – плоскости решетки 3 при отклонении луча на $\pm 30^\circ$ из – за рассогласования.

На рис. 33 приведены диаграммы направленности сканирующей в H – плоскости решетки 4 на частоте 4 ГГц при отклонении луча от нормали $\pm 15^\circ$ – пунктирной линией, $\pm 30^\circ$ – штриховой, $\pm 45^\circ$ – штрих-пунктирной, а сплошной – синфазной решетки 4. На рис. 34, 35 в тех же обозначениях приведены диаграммы направленности сканирующей в H – плоскости решетки 4 на частоте 6 ГГц и 7.5 ГГц, соответственно.

На рис. 33, 34 и 35 можно видеть, что, несмотря на падение уровня заднего лепестка, при больших углах сканирования в H–плоскости наблюдается резкий рост уровня боковых лепестков, из–за чего падает коэффициент усиления решетки 4.

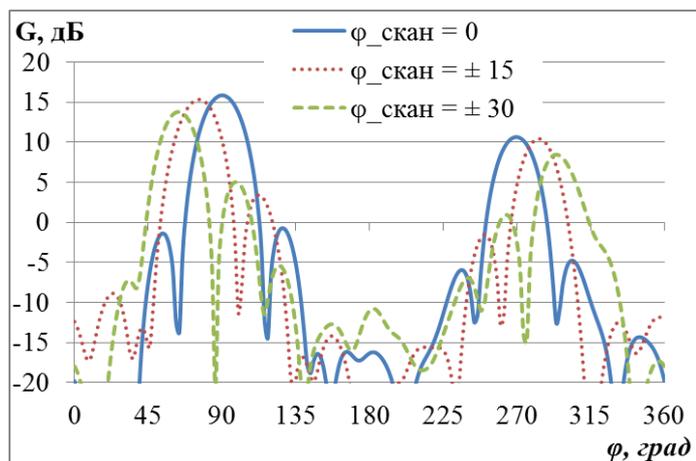


Рис. 30. Диаграммы направленности сканирующей в Н – плоскости решетки 3 на частоте 4 ГГц при $\theta = 90^0$

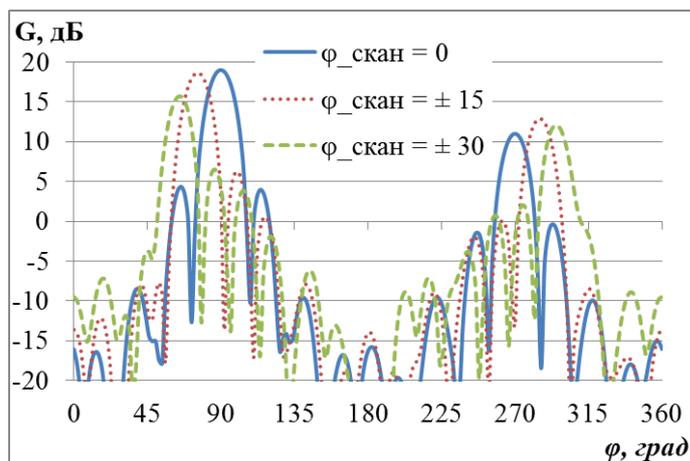


Рис. 31. Диаграммы направленности сканирующей в Н – плоскости решетки 3 на частоте 6 ГГц при $\theta = 90^0$

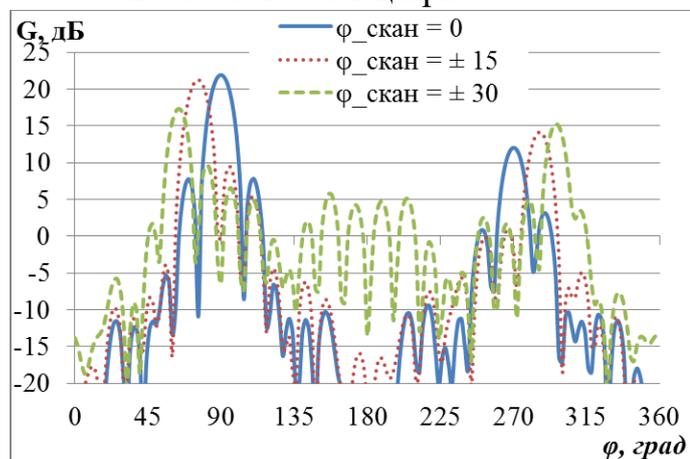


Рис.32. Диаграммы направленности сканирующей в Н – плоскости решетки 3 на частоте 7.5 ГГц при $\theta = 90^0$

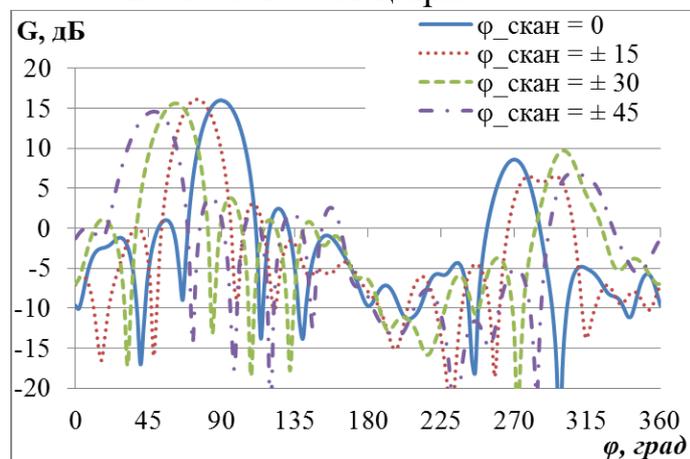


Рис. 33. Диаграммы направленности сканирующей в Н – плоскости решетки 4 на частоте 4 ГГц при $\theta = 90^0$

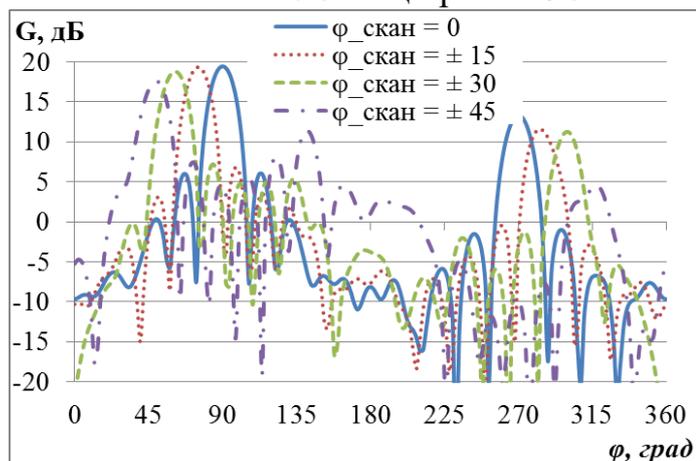


Рис. 34. Диаграммы направленности сканирующей в Н – плоскости решетки 4 на частоте 6 ГГц при $\theta = 90^0$

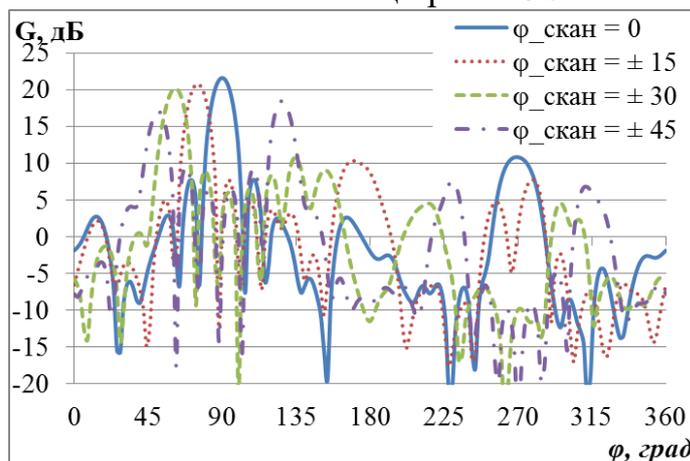


Рис. 35. Диаграммы направленности сканирующей в Н – плоскости решетки 4 на частоте 7.5 ГГц при $\theta = 90^0$

Заключение

На основании проведенных в работе исследований можно сделать следующие выводы:

- Бесконечные двумерно - периодические синфазные решетки ТЕМ рупоров согласованы в полосе частот более 1:40.
- Бесконечная плоская двумерно – периодическая решетка из ТЕМ рупоров сканирует в Е – плоскости в секторе углов 90 градусов в Е плоскости и 30 градусов в Н плоскости без уменьшения полосы частот, в том числе при сканировании в двух плоскостях. Бесконечная решетка второго типа обеспечивает ту же полосу при сканировании в секторе 60 x 60 градусов.
- Синфазные плоские 36-элементные решетки согласованы в полосе частот более 1:10, уровень заднего лепестка на высоких частотах менее -10 дБ. Отношение излучения вперед / назад решеток сначала растет с частотой, а затем стабилизируется на уровне около 7.5 дБ.
- При сканировании в Е – плоскости полоса согласования 36-элементной плоской двумерно – периодической решетки из ТЕМ рупоров сужается, при углах отклонения луча от нормали $\pm 45^{\circ}$ полоса рабочих частот решетки менее 1:5. При этом коэффициент усиления практически не падает, а нормированный уровень заднего лепестка падает до - 14 дБ (при отклонении на $\pm 45^{\circ}$) Уровень боковых лепестков – 13дБ. При сканировании в Н – плоскости в секторе 30 градусов полоса согласования сужается до 1:7.

- Полоса согласования 36 - элементной плоской двумерно – периодической решетки из ТЕМ рупоров с металлизацией практически не меняется при сканировании в Н – плоскости в пределах отклонения луча от нормали $\pm 30^{\circ}$, или при одновременном сканировании в двух плоскостях в Е – плоскости в пределах $\pm 30^{\circ}$ и в Н-плоскости в пределах $\pm 15^{\circ}$, т.е. остается более 1:10. При этом уровень задних и боковых лепестков на краях сектора сканирования достаточно высок.

Отметим, что синфазные решетки могут быть использованы в качестве кластерных облучателей сверхширокополосных многолучевых систем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №15-07-07797.

Литература

1. Ефимова Н.А., Калошин В.А., Мартынов Е.С., Скородумова Е.А. Исследование рупорно-параболической TEM антенны // Журнал Радиоэлектроники. 2011. № 12. <http://jre.cplire.ru/jre/dec11/17/text.pdf>
2. Ефимова Н.А., Калошин В.А. Исследование рупорно - линзовой TEM антенны // Радиотехника и электроника. 2012. Т.57. № 9. С.1020-1027
3. McDonald J.L., Filipovic D.S. A monoscone – bicone collinear array // IEEE Trans. Antennas. Propag. 2010. Vol. 58. No. 12. pp. 3905–3912
4. Калошин В.А., Нгуен К.З. Исследование коллинеарных сверхширокополосных антенных решеток из цилиндрических – конических и поликонических элементов // Антенны. 2016. № 2. С. 34–41.
5. Калошин В.А., Нгуен К.З. Исследование характеристик E - плоскостных линейных решеток TEM рупоров, *ibid*, <http://jre.cplire.ru/jre/may17/12/text.pdf>
6. Бирюков В.Л., Ефимова Н.А., Калиничев В.И., Калошин В.А., Пангонис Л.И. Исследование сверхширокополосной кольцевой антенной решетки // Журнал Радиоэлектроники. 2013. № 1. <http://jre.cplire.ru/jre/jan13/20/text.pdf>
7. Калошин В.А., Нгуен К.З. Сверхдиапазонные излучатели и антенные решетки на основе биконических рупоров // Антенны. 2016. №8. С. 69 – 76
8. Wang Z.P., Hall P.S., Kelly J., Gardner P. TEM horn circular array for wide band pattern notch reconfigurable antenna system // Loughborough Antennas & Propagation Conference. Nov. 2010. pp. 365 - 367
9. Elmansouri M.A., Na J., Filipovic D.S. Ultrawideband TEM horn circular array // IEEE Trans. Antennas Propag. 2017. Vol. 65. No 3. pp. 1374 – 1379
10. Дупленкова М.Д., Калиничев В.И., Калошин В.А. Сверхширокополосная цилиндрическая антенная решетка на основе поликонических излучателей // Журнал Радиоэлектроники. 2015. № 11. <http://jre.cplire.ru/jre/nov15/13/text.pdf>
11. Калошин В.А., Нгуен К.З. Сверхдиапазонные излучатели и антенные решетки на основе биконических рупоров // Антенны. 2016. №8. С. 69 – 76

12. McGrath D.T. Blindness effects in ground plane - backed TEM horn arrays // IEEE Antennas Propag. Society International Symposium, June 1998. pp. 1024 - 1027
13. McGrath D.T., Baum C.E. Scanning and impedance properties of TEM horn arrays for transient radiation // IEEE Trans. Antennas Propag. 1999. Vol.47. No. 3. pp. 469-473
14. Holzman E.L. A wide band TEM horn array radiator with a novel microstrip feed // IEEE International Conf. Phased Array Systems Tech. May 2000. pp. 441 – 444
15. Herd J. S, Kao P.S. Broadband TEM horn array for FOPEN radar // IEEE Antennas Propag. Society International Symposium, July 2001. pp. 452 – 455
16. Wang J., Tian C., Luo G., Chen Y., Ge D. Four-element TEM horn array for radiating ultrawideband electromagnetic pulses // Microw. Opt. Technology Lett. 2001. Vol. 31. No. 3. pp. 190 - 194
17. Wu F., Yuan N. The radiation characteristic of UWB planar TEM horn antenna array // CIE International Conference Radar. China, 16-19 Oct. 2006
18. Strauss G., Breitsameter K. A circular polarized TEM horn antenna array with large scanning angle // IEEE Radio Wireless Symposium. Jan. 2011. pp. 98 – 101
19. Keskin A.K., Senturk M.D., Turk A.S. Quasi TEM horn antenna array for rescue radar buried victims under rubble // 8th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR). Italy, 7-10 July 2015
20. Банков С.Е., Калошин В.А., Нгуен К.З. К теории антенных решеток из TEM рупоров // Труды IV Всероссийской Микроволновой конференции, г. Москва, 26 – 28 ноября 2016. С. 410 – 413
21. Нгуен К.З. Анализ и оптимизация сверхширокополосных малоэлементных решеток линейной поляризацией с целью расширения полосы частот. Дисс. канд. физ-мат. наук. М., МФТИ, 2017
22. Chio T., Schaubert D.H. Parameter study and design of wide-band widescan dual-polarized tapered slot antenna arrays // IEEE Trans. Antennas Propag. 2000. V. 48. No 6. pp. 879–886

23. Kasturi S., Schaubert D.H. Effect of dielectric permittivity on infinite arrays of single-polarized Vivaldi antennas // IEEE Trans. Antennas Propag. 2006. Vol. 54. No. 2. pp.351 - 358

24. Maaskant R., Ivashina M.V., Iupikov O., Redkina E.A., Kasturi S., Schaubert D.H. Analysis of large microstrip-fed tapered slot antenna arrays by combining electrodynamic and quasi-static field models // IEEE Trans. Antennas Propag. 2011. Vol. 59. No. 6. pp. 1798 - 1807

25. Reid E.W., Ortiz-Balbuena L., Ghadiri A., Moez K. A 324-element Vivaldi antenna array for radio astronomy instrumentation // IEEE Trans. Instrum. Meas. 2012. Vol. 61. No. 1. pp. 241 – 250

26. Kindt R.W., Pickles W.R. Ultrawideband all-metal flared-notch array radiator // IEEE Trans. Antennas Propag. 2010. V. 58. No 11. pp. 3568–3575

27. Yan J., Gogineni S., Camps-Raga B., Brozena J. A dual-polarized 2-18 GHz Vivaldi array for airborne radar measurements of snow // IEEE Trans. Antennas Propag. 2016. V. 64. No 2. pp. 781–785

28. Банков С.Е., Дупленкова М.Д., Калошин В.А. Сверхширокополосная облучающая система на основе линейной решетки из антенн Вивальди для многолучевых гибридных антенн // Журнал Радиоэлектроники. 2015. № 12.

<http://jre.cplire.ru/jre/dec15/18/text.html>

Ссылка на статью:

В. А. Калошин, К. З. Нгуен. Исследование характеристик СШП плоских двумерно-периодических решеток ТЕМ рупоров. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №5. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/may17/14/text.pdf>