

*Кизименко В.В., Москалев Д.В., Наумович Н.М.,
Юбко А.П., Юрцев О.А.*

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Двухполяризационный излучатель для микрополосковой плоской антенной решетки с одномерным сканированием

Приводятся результаты численного моделирования и эксперимента по двухполяризационному микрополосковому излучателю, предназначенному для применения в качестве элемента плоской антенной решетки с одномерным сканированием. Приводятся результаты численного моделирования решетки в режиме сканирования.

Ключевые слова: микрополосковый двухполяризационный излучатель, плоская антенная решетка, одномерное сканирование, численное моделирование, эксперимент.

Введение

Антенные решетки, обеспечивающие излучение и прием на двух ортогональных поляризациях, применяются в ряде радиолокационных систем, например, в орбитальных радиолокаторах, предназначенных для мониторинга Земной поверхности [1]. В сантиметровом диапазоне волн двухполяризационные решетки обычно делаются в микрополосковом исполнении. Известны конструкции двухполяризационных микрополосковых излучателей для применения в решетках с двумерным сканированием [2, 3]. В сантиметровом диапазоне в качестве двухполяризационных излучателей, нашли применение антенны в виде ортогонально расположенных вибраторов или щелей [4] с развязанными входами, либо квадратная патч-антенна [3]. Для обеспечения одномерного сканирования такие излучатели соединяются в линейную синфазную решетку с помощью параллельной или последовательной схемы деления мощности. Причем для обеспечения излучения полей с ортогональными поляризациями при возбуждении их по двум развязанным входам схема деления получается очень сложной. А сама такая линейная решетка выполняется с несколькими слоями. Это удорожает антенну.

В настоящей статье описывается двухполяризационный излучатель в виде двух линейных микрополосковых решеток с последовательным возбуждением развязанными входами по двум ортогональным поляризациям. Излучатель однослойный.

Схема построения излучателя

Схема построения показана на рис. 1а, б. На рис. 1в показана фотография экспериментального макета.

На рис. 1а показан двухполяризационный излучатель в виде двух линейных решеток. Верхняя решетка с поляризацией вдоль оси Y , нижняя – с поляризацией вдоль оси X . Ось Z перпендикулярна плоскости решеток. От оси Z отсчитывается угол наблюдения при расчете диаграммы направленности. Рисунки 1а и 2б созданы в программе AWR Microwave Office (далее MWO), с помощью которой проведено численное моделирование решеток и

оптимизация их геометрических размеров по критерию согласования и по сохранению формы диаграммы направленности (ДН) в максимально возможном диапазоне частот.

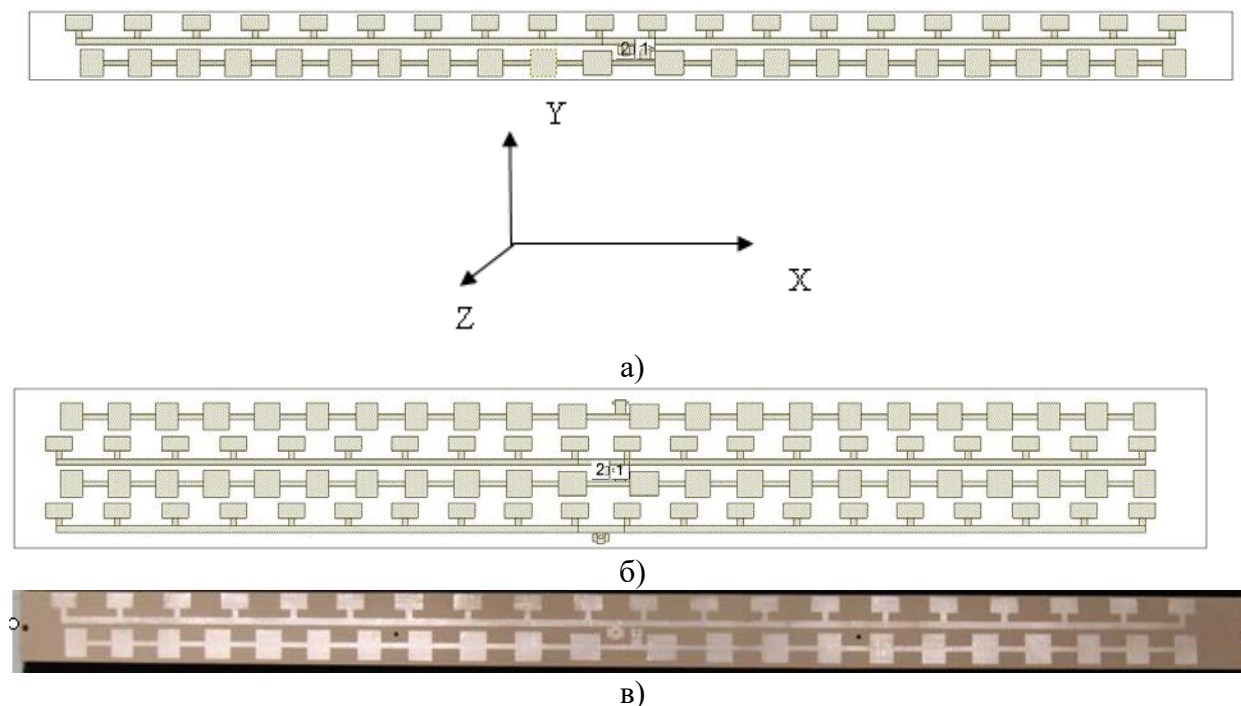


Рис.1. Схема построения и фотография макета решетки

Моделирование выполнено на компьютере с оперативной памятью 17 Gb, тактовой частотой 3,7 ГГц. На этом компьютере оказалось возможным моделирование плоской решетки с максимальным числом линейных решеток (строк плоской решетки), равным 4. Такая решетка показана на рис.1б и использована для исследования влияния взаимодействия линейных решеток друг на друга по критерию согласования и форме ДН. По результатам расчета ДН в плоскости показанной на рис.1б, рассчитана ДН плоской решетки с числом строк, равным 36, с использованием теоремы перемножения ДН [5].

На рис.1а и 1б цифрами 1 и 2 обозначены входы решеток по двум поляризациям. В более крупном масштабе центральная часть показана на рис.2.

Решетка отработана для работы в диапазоне частот со средней частотой 9.65 ГГц. Размеры платы решетки на рис.1а равны 21×400 мм. С шагом 21 мм излучатели расположены в плоской решетке вдоль оси Y, что обеспечивает электронное сканирование в плоскости YZ с выполнением условия единственности главного лепестка ДН при сканировании в секторе углов $\pm 20^\circ$. Далее в статье угол сканирования в этой плоскости обозначается символом θ_{yz} .

В плоскости XZ плоская решетка не сканирует, параметры ДН такие же, как параметры ДН в этой плоскости одной линейной решетки с горизонтальной или вертикальной поляризацией.

Линейные решетки, входящие в состав излучателя, показанного на рис.1а, в литературе описаны. Задача авторов настоящей статьи заключалась в том, чтобы оптимизировать размеры всех элементов решеток при наличии взаимного влияния соседних строк в решетке по указанным выше критериям и сравнить результаты численного моделирования с результатами эксперимента. Ставилась также задача обобщить полученные результаты численного моделирования решетки, показанной на рис.1б, на плоскую решетку с заданным числом строк.

Результаты численного моделирования и эксперимент

На рис.3 представлены результаты расчета в AWR входного сопротивления, коэффициент стоячей волны (КСВ) решетки, показанной на рис.1а, по двум входам.

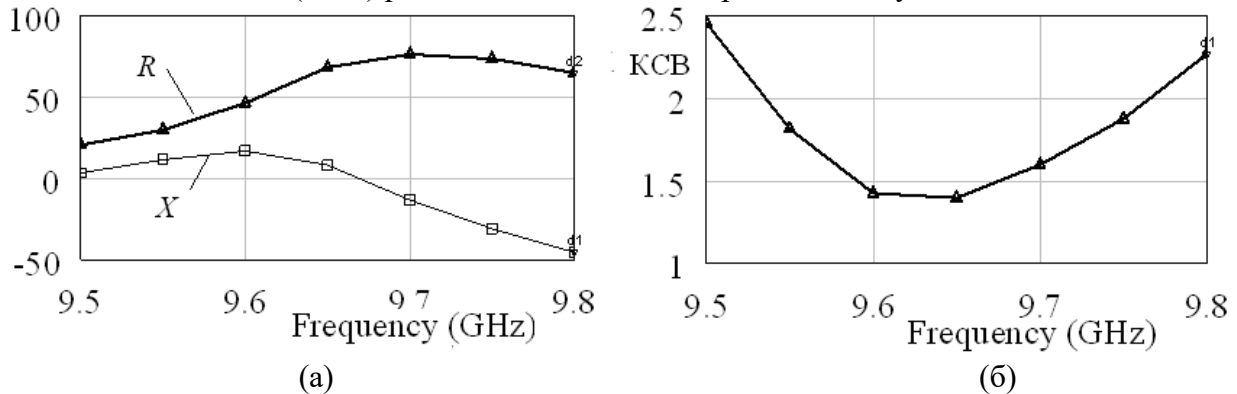


Рис.2. Активная (R) и реактивная (X) части входного сопротивления (а) и КСВ (б) по входу 1 с горизонтальной поляризацией в диапазоне частот

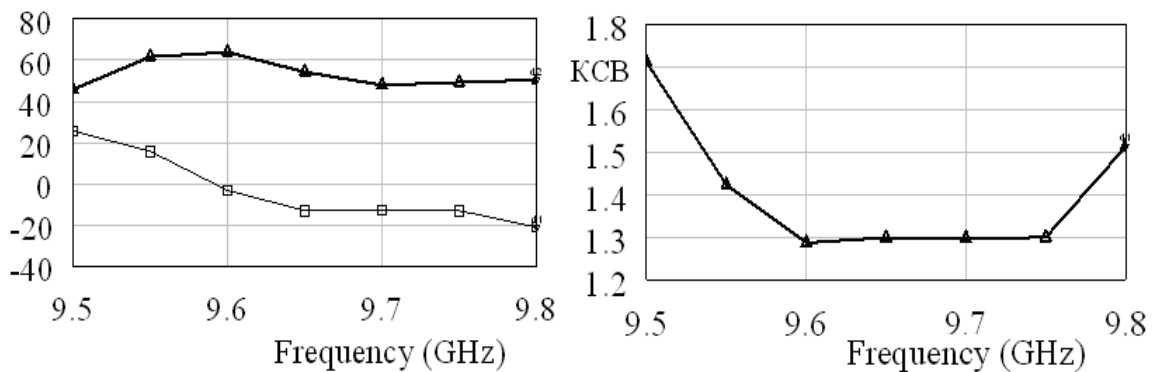


Рис.3. Активная (R) и реактивная (X) части входного сопротивления (а) и КСВ (б) по входу 2 с вертикальной поляризацией в диапазоне частот

На рисунках 4 и 5 показаны ненормированные диаграммы направленности по двум входам для основной (толстой линией) и по кроссполаризации (тонкой линией) на средней частоте диапазона, в котором обеспечено согласование.

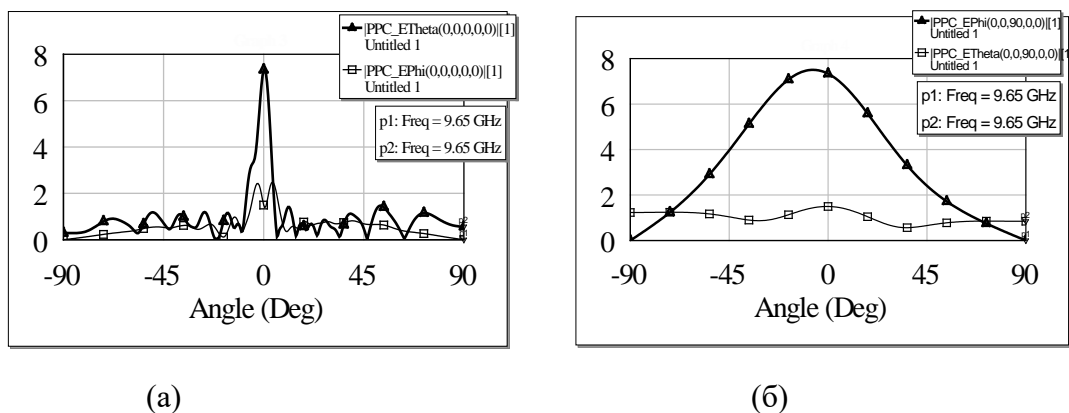
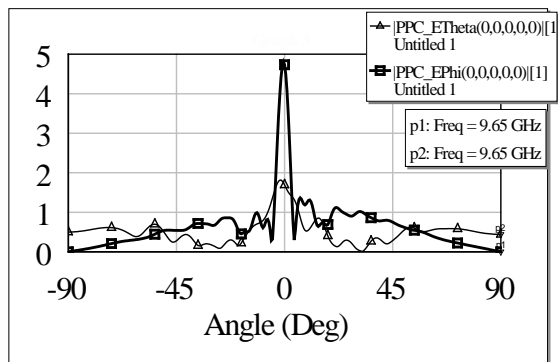
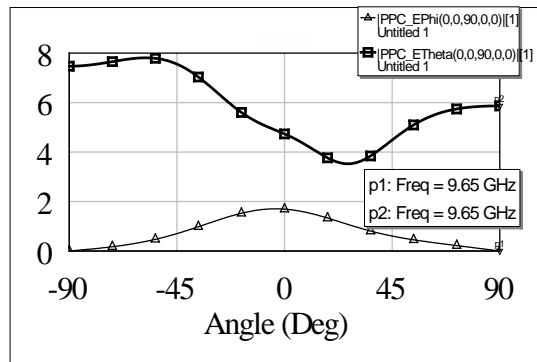


Рис.4. Диаграммы направленности при возбуждении входа 1 по горизонтальной поляризации (а) – ДН в горизонтальной плоскости; (б) – ДН в вертикальной плоскости



(a)



(б)

Рис.5. Диаграммы направленности при возбуждении входа 2 по вертикальной поляризации

(a) – ДН в горизонтальной плоскости; (б) – ДН в вертикальной плоскости

Из полученных в программе AWR результатов численного моделирования можно сделать выводы:

1. Описанный двухполяризационный излучатель согласован до уровня $K_{СВ} \leq 2$ в полосе частот, составляющей примерно 2,5% от средней частоты. В этом диапазоне частот развязка между двумя входами не менее 10 дБ.
2. В этом диапазоне частот уровень боковых лепестков ДН в горизонтальной плоскости по двум входам и основной поляризации составляет примерно -13 дБ, что соответствует равномерному амплитудному распределению возбуждения излучателей в этой плоскости
3. В вертикальной плоскости при возбуждении вертикальной поляризации за счет взаимодействия между излучателями в составе решетки главный лепесток ДН существенно расширен (рис.5б). При горизонтальной поляризации взаимодействие между излучателями существенно меньше, и ДН в вертикальной несущественно изменяется по сравнению со случаем отсутствия соседних излучателей.
4. Уровень поля по кроссполяризации при возбуждении любого входа на 10-15 дБ меньше уровня поля по основной поляризации.

Результаты расчета ДН в вертикальной плоскости использованы для моделирования ДН в этой плоскости для решетки из большого числа излучателей в этой плоскости. Для этого использована теорема перемножения ДН [5]. Использовано комбинированное амплитудное распределение (АР) в этой плоскости, описываемой косинусом в степени P_y на «подставке» Δy . Фазовое распределение возбуждения излучателей в вертикальной плоскости задавалось линейным для обеспечения сканирования в этой плоскости.

На рис.6 приведен пример расчета ДН в вертикальной плоскости для решетки с числом излучателей вертикальной плоскости $N_y = 36$, шаг размещения излучателей $D_y = 21$ мм, что обеспечивает выполнение условия единственности главного лепестка в диапазоне частот согласования при сканировании в угловом секторе $\theta_{\text{му}} = \pm 20^\circ$. Параметры АР: $\Delta y = 0,3$; $P_y = 1,5$. Возбужден вход по вертикальной поляризации.

Рисунок 6 и подобные результаты позволяют оценить влияние асимметрии ДН излучателя в вертикальной плоскости (рис.5б) на уровень дальних боковых лепестков в диаграмме направленности решетки при сканировании.

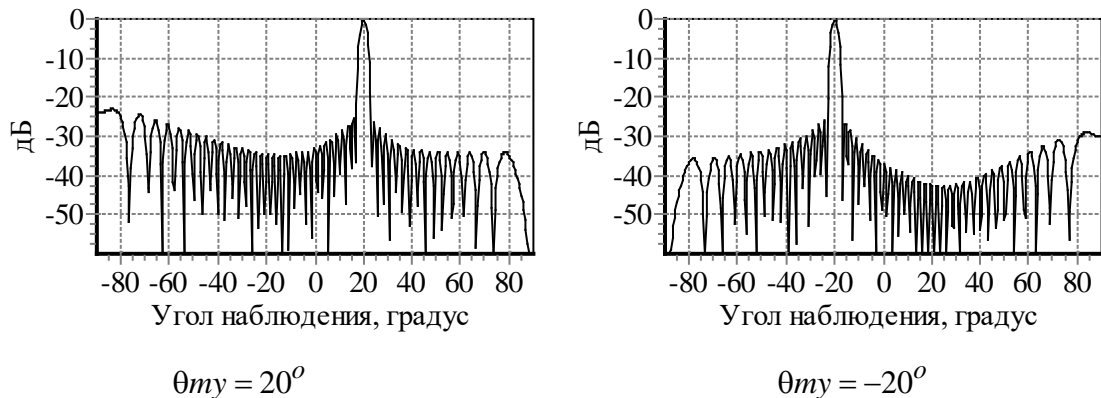


Рис.6. ДН в вертикальной плоскости для случая $N_y=36$, шаг размещения излучателей $D_y=21$ мм, частота 9650 МГц

Степень соответствия результатов расчета ДН в программе AWR и эксперимента иллюстрирует рисунок 7, на котором показаны ДН на частоте 9,65 ГГц по вертикальной (а) и горизонтально (б) поляризации.

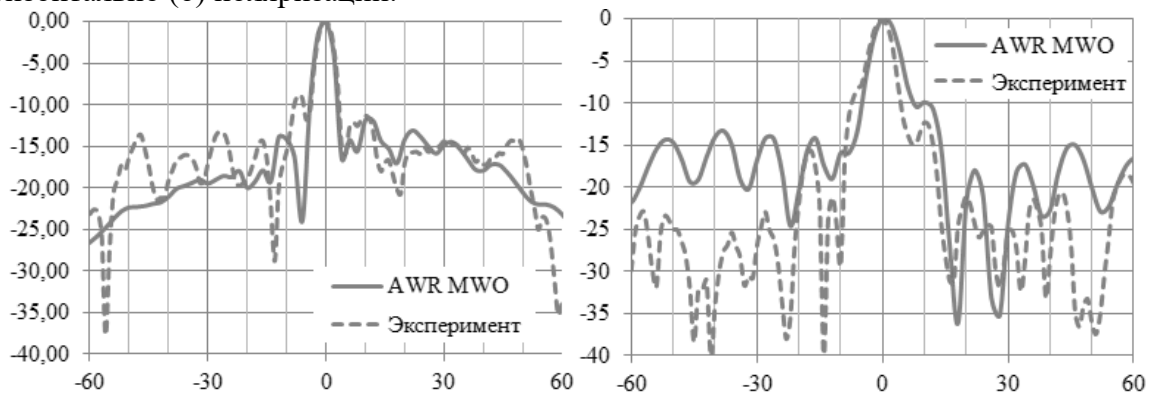


Рис.7. ДН на частоте 9,65 ГГц по вертикальной (а) и горизонтально (б) поляризации.

Описанные в статье результаты являются новыми и дополняют ранее опубликованные результаты анализа по микрополосковым решеткам.

Библиографический список

1. eoPortal [Электронный ресурс] / Earth Observation resources. – Режим доступа: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/t/terrasar-x>. – Дата доступа: 11.08.2014.
2. Zhi Ning Chen and Michael Y. W. Chia Broadband Planar Antennas. Design and Applications. John Wiley & Sons. 2006.
3. Handbook of Microstrip Antennas/ Edited by J. R. James & P s Hall. Published by: Peter Peregrinus. 1989.
4. Debatosh Guha. Microstrip and Printed Antennas: new trends, techniques, and applications. John Wiley & Sons, Inc., 2011. p.959.
5. Robert J. Mailloux. Phased Array Antenna Handbook. Artech House, 2005, p.515.