

## ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ВИБРАТОРНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ДВОЙНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

### Введение

В системах наземной и спутниковой связи широко используются традиционные зеркальные антенны с параболическим рефлектором. Эти антенны весьма эффективны и достаточно просты, однако не всегда удобны для использования из-за их неплоского рефлектора. Поэтому в течение многих лет усилия разработчиков были направлены на поиски возможностей замены параболического рефлектора его плоским эквивалентом. В результате таких усилий на свет появились плоские отражательные антенные решетки [1, 2]. Особенно широкое распространение такие решетки получили с началом использования печатных технологий при производстве антенн [3–5]. Благодаря своим повышенным функциональным возможностям, высокой технологичности и низкой стоимости они уже сейчас составляют серьезную конкуренцию традиционно используемым антеннам, в частности зеркальным параболическим. В последнее время отражательные антенные решетки интенсивно разрабатываются для спутниковых бортовых систем связи и телевидения [6–8], которые формируют контурные лучи для обслуживания определенных материков и континентов [7, 8]. При этом отражательные решетки космического базирования могут выполняться не только в виде традиционных жестких конструкций, но и как надувные антенны [9], способные в космических условиях с высокой точностью поддерживать плоскую форму рефлектора. Особенно ценно, если такие решетки могут работать на волнах различной поляризации. В настоящей работе изложен простой принцип построения плоской отражательной вибраторной антенной решетки [10], предназначенной для одновременной работы на волнах двух ортогональных поляризаций в любом ортогональном базисе.

### Принцип построения антенной решетки

Рассмотрим отражательную антенную решетку, состоящую из облучателя  $P$  и отражателя  $A$ , выполненного в виде антенной решетки и плоского проводящего экрана конечных размеров (рис. 1а). Решетка состоит из идентичных вибраторных излучателей, установленных на высоте  $z_d = 0,25\lambda$  от экрана и ориентированных параллельно его поверхности. Облучатель испускает волну с круговой поляризацией, бегущую в сторону отражателя, которая создает в плоскости решетки электромагнитное поле, возбуждающее ее элементы. Амплитудное распределение этого поля определяется высотой подвеса, ориентацией и диаграммой направленности облучателя, а фазовое распределение – временем запаздывания волны на пути от облучателя до элементов решетки. Для создания решеткой остронаправленного излучения в заданном направлении необходимо,

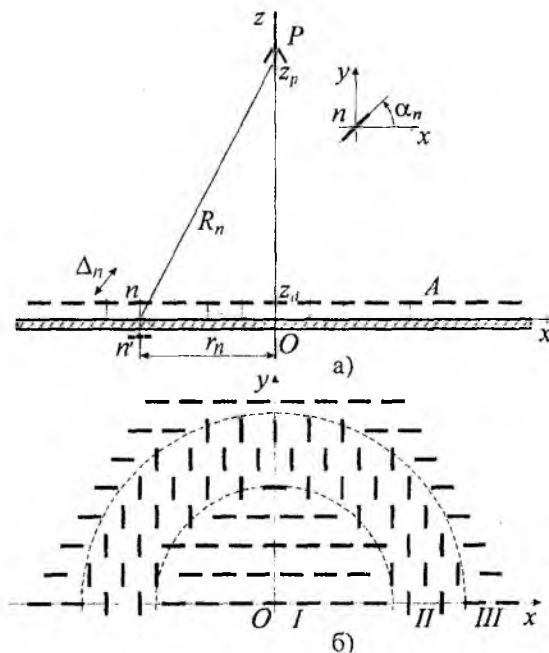


Рис. 1

чтобы волны, отраженные от всех элементов решетки складывались там синфазно. Известно [2, 11], что при возбуждении линейного излучателя над экраном волной круговой поляризации в отраженном от него поле будет преобладать кополяризованная волна, то есть волна, имеющая ту же поляризацию, что и падающая. Фаза напряженности поля этой волны будет

зависеть от угла его ориентации в горизонтальной плоскости. При этом поворот  $n$ -го излучателя на угол  $\alpha_n$  (рис. 1а) приводит к изменению фазы отраженной им кополяризованной волны  $\Delta\varphi_n$  на величину  $+2\alpha_n$  или  $-2\alpha_n$  в зависимости от направления вращения плоскости поляризации падающей волны. Для формирования решеткой максимума излучения в направлении  $(\theta_0, \varphi_0)$  необходимо каждый ее излучатель повернуть на угол

$$\alpha_n = \pm \frac{\pi}{\lambda} (R_n - z_p) - \Psi_n, \quad (1)$$

где  $\Psi_n = \frac{2\pi}{\lambda} (x_n \cos \varphi_0 + y_n \sin \varphi_0) \sin \theta_0$ ;  $(x_n, y_n)$  – координаты точки на экране, совпадающей с фазовым центром  $n$ -го элемента решетки, образованным  $n$ -м излучателем и его зеркальным изображением в экране  $n'$ ;  $R_n$  – расстояние от фазового центра облучателя до упомянутого фазового центра  $n$ -го элемента решетки.

Из (1) следует, что для формирования остронаправленного излучения на волнах круговой поляризации с правым вращением излучатели в решетке следует вращать против часовой стрелки, а если с левым вращением – то в противоположную сторону. Теперь предположим, что возникла потребность отражательную антенную решетку, настроенную для работы на волнах круговой поляризации, например, правого вращения, использовать для работы на волнах ортогональной поляризации, то есть левого вращения. Чтобы этого достичь, придется изменить направление вращения поля облучателя, и переориентировать все излучатели в решетке, зеркально отразив их относительно выбранного направления отсчета углов  $\alpha_n$  (на рис. 1 это направление совпадает с осью  $x$ ). После осуществления такой операции среди всех элементов решетки ориентацию сохраняют только те, углы поворота  $\alpha_n$  которых равны  $0^\circ$  или  $90^\circ$ . Фаза поля волны круговой поляризации, отраженной этими элементами, не зависит от направления вращения поля и составляет  $0^\circ$  или  $180^\circ$  соответственно. Следовательно, если бы все элементы решетки были ориентированы только параллельно и перпендикулярно по отношению к выбранному направлению, то отражательная антенна работала бы одинаково на волнах круговой поляризации с любым из двух направлений вращения, при этом выбор его определялся бы только поляризацией поля облучателя. Добиться такой ориентации всех излучателей в решетке с регулярной структурой при точном выполнении условия синфазного сложения отраженных излучателями волн в заданном направлении практически невозможно. Однако данная задача становится разрешимой, если несколько ослабить требование полной синфазности отраженных волн и допустить их некоторую расфазировку. Для этого достаточно вычисленные по формуле (1) углы поворота излучателей округлить до ближайших значений, кратных  $90^\circ$ . В этом случае все излучатели приобретут требуемую ориентацию, а отличие фаз отраженных ими волн от точных значений не будут превышать  $\pi/2$ . При этом нетрудно убедиться, что одинаково ориентированные близкорасположенные элементы решетки будут группироваться внутри областей, совпадающих с зонами Френеля для поля облучателя.

Примером построенной описанным способом вибраторной антенной решетки может служить фрагмент, показанный на рис. 1 б. Зоны Френеля здесь пронумерованы римскими цифрами, и их границы проведены пунктирными линиями. Покажем, что данная антенна будет иметь двойную поляризацию и при ее работе на волнах линейной поляризации. При возбуждении отражателя полем волны, поляризованной вдоль оси  $x$ , в создании отраженного поля будут принимать участие лишь те вибраторы, которые расположены в нечетных зонах Френеля, а в четных зонах волны будут отражаться от экрана. Если же волна, приходящая от облучателя, будет поляризована вдоль оси  $y$ , то напротив, в отражении волн будут принимать участия вибраторы, расположенные в четных зонах Френеля, а в нечетных зонах – участки проводящего экрана. Поскольку фазы полей волн, отраженных от вибратора и прово-

дающего экрана отличаются на  $\pi$ , то в обоих случаях такая антенна будет работать как традиционная отражательная антенна Френеля.

### Численные результаты

Приведем результаты расчета диаграмм направленности отражательной антенной решетки двойной поляризации, построенной согласно изложенному принципу. Элементами решетки здесь служат резонансные вибраторы, поднятые над экраном на высоту  $0,25\lambda_0$ . Их фазовые центры размещены в узлах треугольной сетки с длиной стороны  $d = d_x = 0,7\lambda_0$  в пределах круглого раскрыва диаметром  $20\lambda_0$ . В этом случае на диаметре антенны (вдоль оси  $x$ ) располагаются 29 элементов, а полное количество излучателей в решетке равно  $N = 745$ . Облучателем решетки служит антенна в виде круглого раскрыва диаметром  $0,6\lambda_0$ . Фазовый центр облучателя размещен над центром решетки на высоте  $z_p = 11\lambda_0$  от проводящего экрана. Предполагается, что излучаемая им волна в направлении главного максимума ДН имеет круговую поляризацию. Для этого в раскрыве облучателя возбуждаются два идентичных ортогональных по фазе и повернутых друг относительно друга на  $90^\circ$  распределения поля, каждое из которых соответствует волне типа  $H_{11}$  в круглом волноводе. Облучатель формирует в раскрыве решетки возбуждающее поле основной поляризации  $E_R$  (правого вращения), амплитуда которого спадает к его краям до уровня -10 дБ. Амплитудное распределение этого поля показано на рис. 2а для сечения  $y = 0$  в виде светлой столбиковой диаграммы; здесь же темные столбики показывают распределение поля паразитной поляризации  $E_L$  (левого вращения), создаваемое облучателем в том же сечении раскрыва решетки.

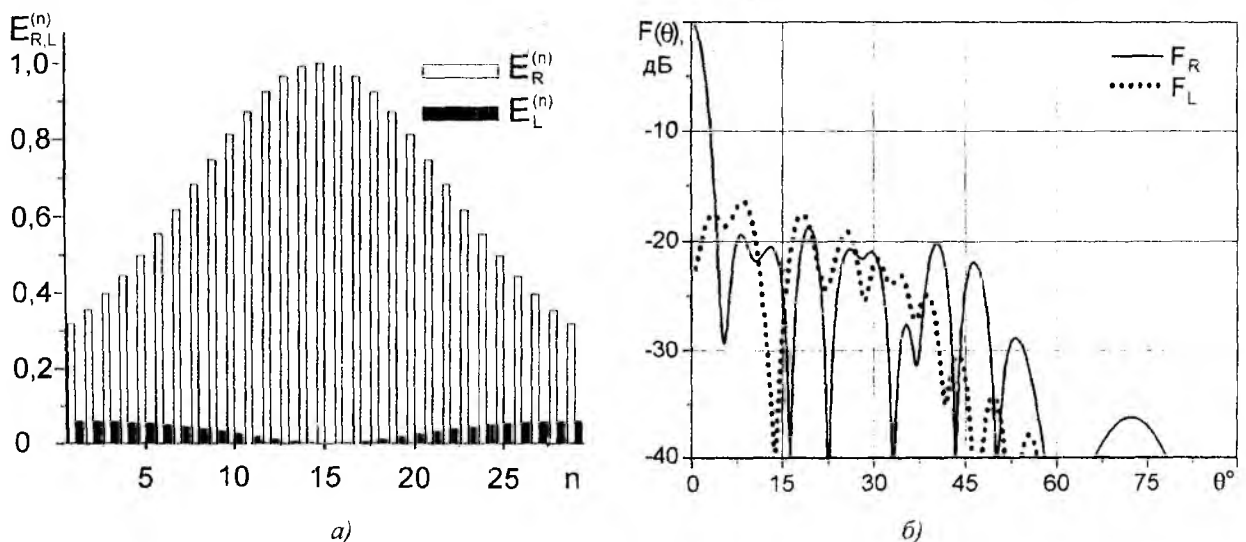


Рис. 2

Расчет диаграмм направленности решетки выполнялся без учета взаимных связей между ее элементами по методике, изложенной в [11, 12]. Она базируется на использовании поляризационных матриц рассеяния излучателей для определения рассеянного на них поля непосредственно в заданном поляризационном базисе (в данном случае круговом). Поле, рассеянное на проводящем экране отражателя, находилось в приближении Гюйгенса-Кирхгофа. На рис. 2 б показаны расчетные диаграммы направленности отражательной антенной решетки, где сплошными линиями показаны ДН на волнах основной поляризации, а пунктиром – паразитной. Из графиков видно, что ширина главного лепестка ДН составляет примерно  $2\theta_{0,5} = 3,6^\circ$ , максимальный уровень боковых лепестков не превышает -18 дБ, а максимальный уровень паразитной поляризации оказался меньшим, чем -16,3 дБ.

## Заключение

Отражательная вибраторная антенная решетка, построенная согласно изложенному принципу, может работать в качестве антенны с двойной поляризацией не только на ортогональных волнах линейной и круговой поляризации, но и на ортогональных волнах любой другой поляризации, поскольку последняя может быть получена путем их линейной комбинации. Платой за приобретенное свойство является некоторое снижение коэффициента усиления антенной решетки за счет неточного фазирования ее излучателей, характерного для всех антенн Френеля.

**Список литературы:** 1. *Phelan H.* Spiraphase – a new low, lightweight phased array // *Microwave J.* 1976. Vol. 19, №12. P. 156 – 159. 2. А.С. 1292079 СССР МКИ<sup>3</sup> Н 01 Q 15/00. Отражательная антенная решетка / *Филиппов В.С., Сапожников А.А.* (СССР). №3043940/24-09. Заявл. 14.08.85. Оpubл. 23.02.87. Бюл. №7. С.257. 3. *Филиппов В.С., Сапожников А.А.* Характеристики многовибраторных излучателей-фазовращателей в плоских отражательных ФАР // *Радиоэлектроника.* 1987. Т.30, №5. С. 45 – 50. (Изв. высш. учеб. заведений). 4. *Bozzi M., Germani S., Perregrini L.* Performance comparison of different element shapes used in printed reflectarrays // *Antennas Wireless Propagat. Lett.* 2003. Vol. 2, No.14. P. 219 – 222. 5. *Strassner B., Han C., Chang K.* Circularly polarized reflectarray with microstrip ring elements having variable rotation angles // *IEEE Trans. Antennas and Propagat.* 2004. V.52, N 4. P. 1122 – 1125. 6. *Tsai F.-C.E., Bialkowski M.E.* Designing a 161-element Ku-band microstrip reflectarray of variable size patches using an equivalent unit cell waveguide approach // *IEEE Trans. Antennas Propagat.* 2003. V.51, No.10. P. 2953 – 2962. 7. *Zornoza A., Encinar J.A., Bialkowski M.E.* A double-layer microstrip reflectarray design to obtain Australia and New Zealand footprint // *Antennas and Propagation Society International Symposium.* 2003. IEEE, Vol.3. P. 310 – 313. 8. *Encinar J.A., Zornoza J.A.* Three-layer printed reflectarrays for contoured beam space applications // *IEEE Trans. Antennas and Propagat.* 2004. V.52, No.5. P. 1138 – 1148. 9. *Huang J.* The Development of Inflatable Array Antennas // *Antennas and Propagation Magazine.* 2001. V.43, N 4. P. 44 – 50. 10. *Токарський П.Л., Щербина А.А., Синстун А.В.* Відбивна антена решітка подвійної поляризації. Патент №24925А України, Н 01 Q 15/00, 1998. 11. *Гладкоскок И.Д., Токарский П.Л.* Поле рассеяния отражателя типа спирафазной антенной решетки // *Радиотехника: Межвед. науч.-техн. сб.* 1991. Вып. 94. С. 65 – 74. 12. *Токарский П.Л., Лучанинов А.И., Гладкоскок И.Д.* Расчет поля рассеяния тонкопроволочных антенн в заданном поляризационном базисе // *Радиоэлектроника.* 1990. Т. 35, № 1. С. 23 – 27. (Изв. высш. учеб. заведений).

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 15.06.2004