

## **МИКРОВОЛНОВЫЕ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ КОЛЬЦЕВЫХ РЕШЕТОК ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ**

*Трубин О.О., доктор техн. наук, профессор  
Национальный технический университет Украины  
"Киевский политехнический институт" г. Киев, Украина*

### **Вступление. Постановка задачи**

На сегодняшний день слабое применение антенн на диэлектрических резонаторах (ДР) сдерживается с одной стороны недостаточным развитием теории резонансного рассеяния электромагнитных волн на сложных много- связных диэлектрических структурах, с другой, сравнительно узкими полосами рабочих частот, характерных для устройств этого типа. Второй недостаток становится несущественным в «высокочастотных» областях. Очевидно, что внимание к антеннам на ДР будет возрастать по мере дальнейшего продвижения рабочих частот систем связи в миллиметровый, субмиллиметровый и инфракрасный диапазоны длин волн.

Целью работы является исследование возможности увеличения рабочей полосы частот, а также улучшения характеристик излучения антенных решеток путем применения новых пространственных структур ДР.

Частотная характеристика антенны может быть расширена путем уменьшения величины диэлектрической проницаемости материала резонаторов, однако в этом случае заметно увеличиваются размеры устройства. Второй способ расширения полосы частот заключается в создании условий увеличения связи между резонаторами. В планарных антеннах указанное увеличение связи может быть достигнуто путем применения кольцевых структур с пассивными ДР, располагаемых эквидистантно относительно активного резонатора, связанного с линией передачи. Такой способ является более предпочтительным, поскольку при этом позволяет еще и улучшать характеристику направленности решетки, «сжимая» ее в двух ортогональных плоскостях.

В настоящей работе приведены результаты исследований кольцевых планарных решеток, выполненных с применением предложенной ранее электродинамической модели рассеяния [1], которая также может быть успешно использована для конструирования и расчета параметров диэлектрических многозвенных антенн [2]. Проведен расчет основных характеристик планарных кольцевых антенных решеток, выполненных на основе полуцилиндрических ДР, запитываемых активным резонатором, расположенным в металлической апертуре закоротки на фланце регулярного прямоугольного волновода.

### Конструкция и результаты исследований

В общем случае, любая многоэлементная антенная решетка может рассматриваться как система активных и пассивных излучателей, формирующих в совокупности диаграмму направленности нужной формы. В коротковолновых диапазонах длин волн в качестве пассивной системы излучателей удобно использовать систему связанных ДР, поскольку в этом случае вся структура имеет достаточно малые размеры, но при этом, как показывает практика, достаточно эффективно взаимодействует между собой и сторонним источником.

На рис. 1 приведены кольцевые двухмерные антенные решетки, выполненные на основе 4 – 8 пассивных ДР и одного активного резонатора.

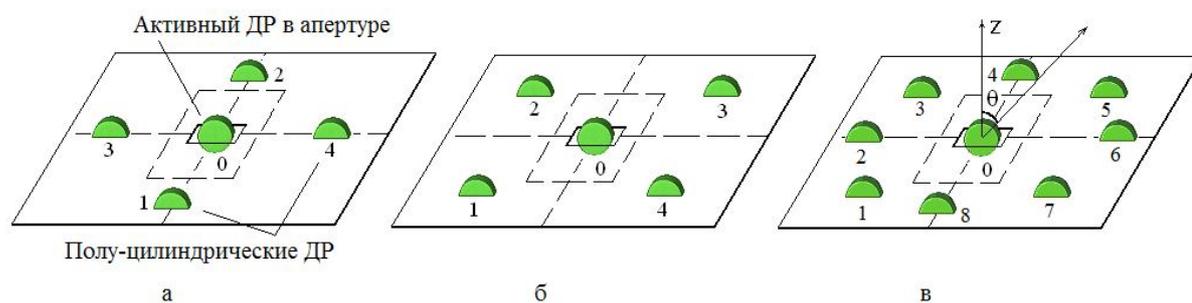


Рис. 1. Кольцевые антенные структуры на цилиндрических ДР.

Активный цилиндрический ДР 0, устанавливается на твердом пенопластовом держателе симметрично относительно апертуры в тонком металлическом экране, перекрывающем поперечное сечение прямоугольного волновода. При этом размеры прямоугольного отверстия несколько превышают размеры ДР, однако выбраны значительно меньшими по сравнению с размерами сечения прямоугольного волновода. Вокруг активного ДР на металлической плоскости располагается кольцевая система полуцилиндрических ДР – 1 - 4, (рис. 1, а, б) связанных между собой и активным ДР 0. Размеры всех ДР соответствуют возможности возбуждения в них основного азимутально однородного магнитного типа колебаний  $H_{101}^+$ . Активный ДР 0 возбуждается волной  $H_{10}$  прямоугольного волновода. При падении электромагнитной волны в системе устанавливается режим связанных вынужденных колебаний. В этом случае все резонаторы системы связываются между собой по полям как реактивными, так и распространяющимися волнами. Предположим, что поля ДР, расположенных на металлической плоскости, а также поле открытого пространства не проникают в объем волновода через апертуру небольших размеров. В этом случае с волноводом оказывается связанным только ДР 0. В дальнейшем мы будем пренебрегать полем излучения апертуры и краевых волн, излучаемых краями металлического экрана конечных размеров.

Для полуцилиндрических ДР, используемых в данных конструкциях,

показаних на рис. 1, коефіцієнти зв'язи рівні половинним значенням, розрахованих на основі соотношений [3, 4]. Считается також, що всі полуміліциліндричні ДР розташовані симетрично відносно активного ДР 0, утворюючи правильний прямокутник в випадках, показаних на рис. 1, а, б, або восьмикутник, який має вигляд пари вкладених один в одного різних прямокутників, в випадку, антени, зображеної на рис. 1, в.

При розрахунку характеристик антен нами використовувалися наступні значення зовнішніх параметрів: частота власних магнітних коливань  $H_{101}^+$  кожного з парціальних ДР  $f_0 = 4$  ГГц; відносна діелектрична проникність матеріала всіх резонаторів  $\epsilon_{1r} = 36$ ,  $(tg\delta)^{-1} = 2 \cdot 10^3$ ; відносні розміри ДР  $\Delta = L/(2r_0) = 0,4$ , де  $L$  - висота, а  $2 \cdot r_0$  - діаметр діелектричних циліндрів. Сечення прямокутного волновода рівнялось  $a \times b = 58 \times 25$  мм<sup>2</sup>. Считалось також, що центр апертури в металічеській стінці розташовується на осі прямокутного волновода, тому коефіцієнт зв'язи активного резонатора з волноводом приймає максимальне значення.

На рис. 2, б приведені результати розрахунку амплитуд вимушених коливань парціальних ДР для 5-ти резонаторної антени, конструкція якої приведена на рис. 1, б.

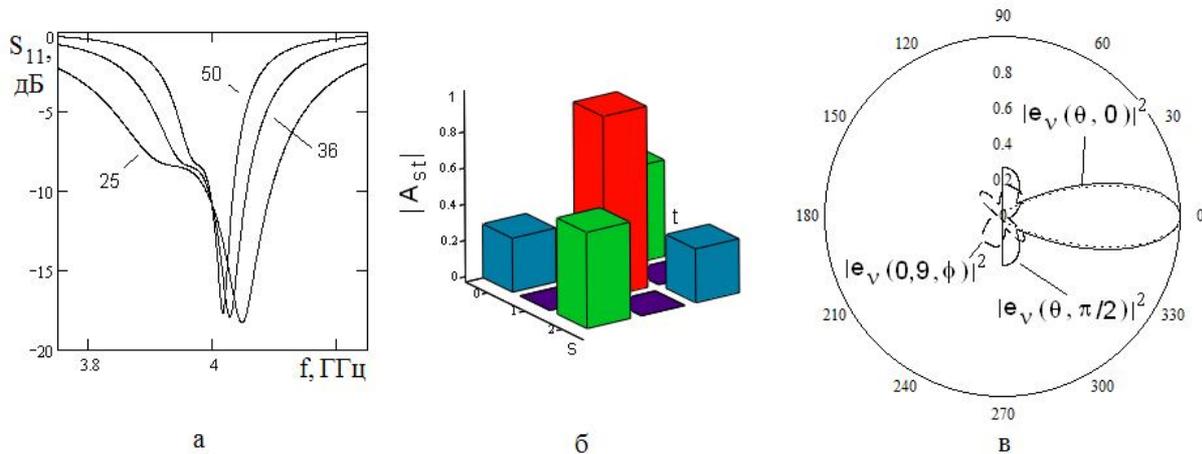


Рис. 2. а – частотна характеристика коефіцієнта відбиття від решіток 5 ДР, зображеної на рис. 1, б, для різних значень діелектричної проникності: 25, 36, 50; б – амплитуди вимушених коливань парціальних резонаторів; в – діаграма направленності решітки.

ДР з пониженими значеннями величини відносної діелектричеської проникності матеріала (см. рис. 2, а). Розраховані діаграми направленності антени в  $H$  і  $E$  площині – показані на рис. 2, в. В процесі оптимізації конструкції координати центрів ДР на металічеській площині підбиралися таким образом, щоб ширина головного лепестка ДН в площині  $H$ , направлено ортогонально площині металічесь-

кого екрана, равнялась ширине лепестка в плоскости  $E$ . Полученное в итоге значение ширины главного лепестка в данном случае равнялось примерно  $42^\circ$ . Здесь  $|\vec{e}_v(\vartheta, \varphi)|^2 = |\vec{e}(\vartheta, \varphi)/\vec{e}_{max}|^2$  - нормированная мощность. Полученные данные демонстрируют заметную связь между парциальными резонаторами, что в свою очередь приводит к заметному расширению полосы частот антенны по уровню  $-3$  дБ коэффициента отражения до  $6\%$ . Указанная полоса частот также может быть расширена и путем использования излучаемого системой ДР поля;  $(\vartheta, \varphi)$  - сферические координаты, ориентированные относительно оси  $z$ , направленной ортогонально плоскости экрана (рис. 1).

Ширина главного лепестка диаграммы направленности заметно уменьшается при использовании большего числа резонаторов. Например, для антенны содержащей 8 пассивных ДР, структура которой показана на рис. 1, в, ширина главного лепестка, изображенного на рис. 3, в, составляет приблизительно  $33^\circ$ .

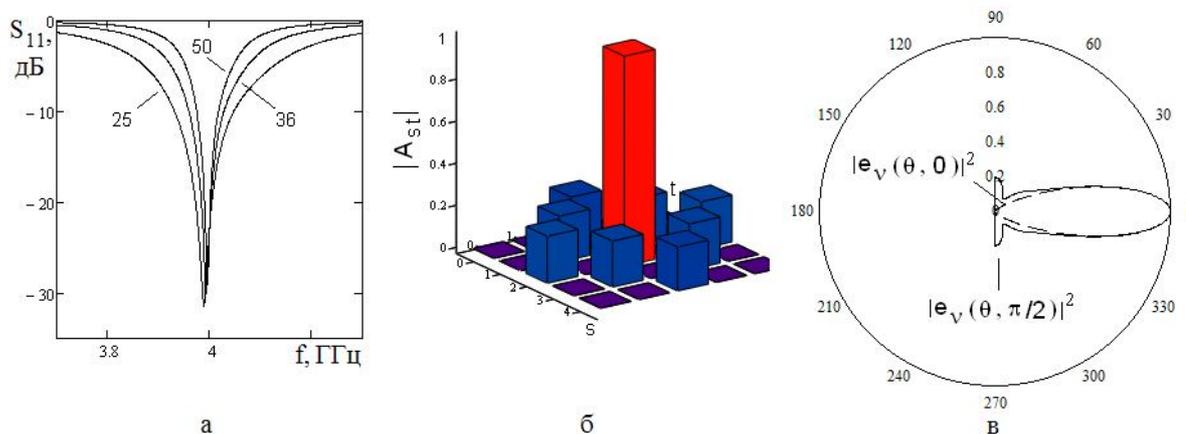


Рис. 3. Расчетные параметры 9 резонаторной антенны (рис. 1, в); а – частотные характеристики коэффициента отражения; б – амплитуды вынужденных колебаний ДР; в – диаграмма направленности

Несмотря на различное относительное расстояние между центрами пассивных ДР, как следует из результатов вычислений, приведенных на рис. 3, б, все амплитуды пассивных ДР примерно равны между собой. Рассчитанная для этого случая частотная зависимость коэффициента отражения антенны со стороны волновода для различных значений относительной диэлектрической проницаемости ДР приведена на рис. 3, а.

### Выводы

Проведенное исследование показывает хорошую эффективность использования ДР для сужения ДН активного излучателя. Полученные результаты синтеза компактных антенных решеток кольцевого типа позволяют получать диаграммы направленности, сжатые в двух ортогональных плоскостях, с шириной до  $33^\circ$  в полосе частот до 6 и более процентов. Рассмотренные в работе структуры антенных решеток отличаются простотой конс-

трукции и не требуют дополнительной разводки для обеспечения необходимого распределения амплитуд парциальных резонаторов. Предлагаемые антенны можно использовать для построения сетей Wi-Fi и сетей Wi-Max миллиметрового диапазона длин волн.

#### Литература

1. Трубин А.А. Рассеяние электромагнитных волн на системах связанных диэлектрических резонаторов // Радиоэлектроника, №2, 1997, с. 35-42.
2. Трубин А.А. Резонансные диэлектрические антенны // "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии". Севастополь. 2004, с. 366-367.
3. Трубин А.А. Исследование характеристик излучения дискового диэлектрического резонатора // Вестник Киев. Политехн. Ин-та, Радиотехника, вып. 21, 1984, с. 29-33.
4. Трубин О.О., Шмиглюк Г.С. Моделивання параметрів антенної решітки на циліндричних діелектричних резонаторах // Вестн. Київ. политехн. ін-та. Радиотехніка, Радіоапаратобудування. - 2006.- Вып. 33. С. 101-108.

*Трубин О.О. Мікрохвильові антени на основі кільцевих решіток діелектричних резонаторів. Розглянуто двовимірні структури циліндричних діелектричних резонаторів (ДР), які розміщуються на плоскій металевій поверхні навколо активного випромінювача, пов'язаного з мікрохвильовою лінією передачі. Кожен ДР збуджується на нижчому типі власних коливань, а вся структура в цілому утворює пасивну відображає систему, що формує діаграму спрямованості активного випромінювача. Показано, що подібні діелектричні структури можуть ефективно звужувати діаграми спрямованості антен. За допомогою наближеного рішення рівнянь Максвелла, розвинена електродинамічна модель антени. Розраховано основні параметри – діаграми випромінювання, амплітуди вимушених коливань парціальних ДР, коефіцієнти відбиття з боку лінії передачі, що живить. Досліджено можливість розширення смуги робочих частот при поліпшенні ДС.*

**Ключові слова:** мікрохвильові антени, діелектричні резонатори, діаграми випромінювання

*Трубин О.О., Микроволновые антенны на основе кольцевых решеток диэлектрических резонаторов. Рассмотрены двухмерные структуры цилиндрических диэлектрических резонаторов (ДР), располагаемые на плоской металлической поверхности вокруг активного излучателя, связанного с микроволновой линией передачи. Каждый ДР возбуждается на низшем типе собственных колебаний  $H_{101}^+$ , а вся структура в целом образует пассивную отражающую систему, формирующую диаграмму направленности активного излучателя. Показано, что подобные диэлектрические структуры могут эффективно сужать диаграммы направленности антенн. С помощью приближенного решения уравнений Максвелла, развита электродинамическая модель антенны. Рассчитаны основные параметры – диаграммы излучения, амплитуды вынужденных колебаний парциальных ДР, коэффициенты отражения со стороны питающей линии передачи. Исследована возможность расширения полосы рабочих частот при улучшении ДН.*

**Ключевые слова:** микроволновые антенны, диэлектрические резонаторы, диаграммы излучения.

*A. Trubin . Microwave antennas, based on dielectric resonators circular arrays. It's ex-*

*aminated 2-D structures, representative by a cylindrical Dielectric Resonator (DR) system, situated on the planar metal surface around active irradiator, coupled with microwave line. Every DR becomes excited on it lowest resonance  $H_{101}^+$ , and all structure as a whole are passive reflecting system, forming directional diagram of active radiation source. It's demonstrated, that similar structures may effectively sharpen a directional diagram of antennas. On the basis an approximate solution of Maxwell equations has been developed antenna model. The basic antenna parameters – the radiation pattern, DR amplitudes and reflection coefficient, has been calculated. It's investigated a possibility of working frequency band widening with improvement of radiation pattern.*

**Key words:** *microwave antennas, dielectric resonators, diagram of the radiation*