

## **МИКРОВОЛНОВАЯ АНТЕННА НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОЙ РЕШЕТКИ СВЯЗАННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ В ВОЛНОВОДЕ**

*Грубин А.А.*

В настоящее время сравнительно полно изучены в основном одно элементные антенны и антенные решетки с синфазным возбуждением ДР [1-2]. Такие антенны характеризуются сравнительно узкими полосами частот, как правило, не превышающими 3 %. В этом случае, проблема расширения рабочих полос частот антенн чаще всего решается путем применения диэлектриков более низкой относительной проницаемости. Альтернативным способом расширения рабочей полосы является создание условий более эффективного взаимодействия диэлектрических резонаторов. Эта цель может быть достигнута путем расположения системы парциальных ДР параллельно оси линии передачи. При этом резонаторы антенны могут обмениваться полями как в открытом пространстве, так и волнами внутри линии. Предлагаемый способ позволяет заметно расширить рабочую полосу антенны до 7% даже для ДР, выполненных из высоко проницаемых диэлектриков, например ТБНС с  $\epsilon_{1r} = 82$ . Однако, в этом случае расчет параметров антенны более сложен, поскольку необходимо одновременно учитывать взаимное действие резонаторов в линии и открытом пространстве.

В настоящей работе развита электродинамическая модель рассеяния [4], которая может быть успешно использована для конструирования диэлектрических много элементных антенн указанного типа. Полученные результаты физически прозрачны для понимания процессов; сравнительно легко позволяют провести практическое конструирование - рассчитать и оптимизировать все необходимые параметры. В качестве примера приведен расчет основных характеристик 5-ти элементной линейной антенны, выполненной с использованием цилиндрических ДР на основных магнитных колебаниях  $H_{101}$ , каждый из которых возбуждается через апертуру в стенке прямоугольного волновода. Полученные данные показывают, что такая антенна имеет приемлемую ДН в Е – плоскости и в месте с тем, позволяет в более широких пределах регулировать полосу рабочих частот.

### **Геометрия структуры**

Любая много элементная антенна обычно состоит из системы активных и пассивных излучателей, формирующих в совокупности диаграмму направленности нужной формы. В коротковолновых диапазонах длин волн в качестве такой системы излучателей удобно использовать ДР, поскольку в этом случае резонаторы имеют достаточно малые размеры и при этом

ефективно взаємодіє друг з другом, ліній передачі і відкритим простором. На рис. 1 показана конструкція простої волноводної антени, виконаної на основі використання системи зв'язаних ДР в волноводі. Кожен з циліндричних ДР, встановлюється в центрі не випромінюючої апертури, розташованої в широкій стенці прямокутного металічного волновода. При цьому розміри кожного прямокутного отвору кілька перевищують розміри ДР, однак вибрані значно меншими по порівнянню з розміром стінки волновода.

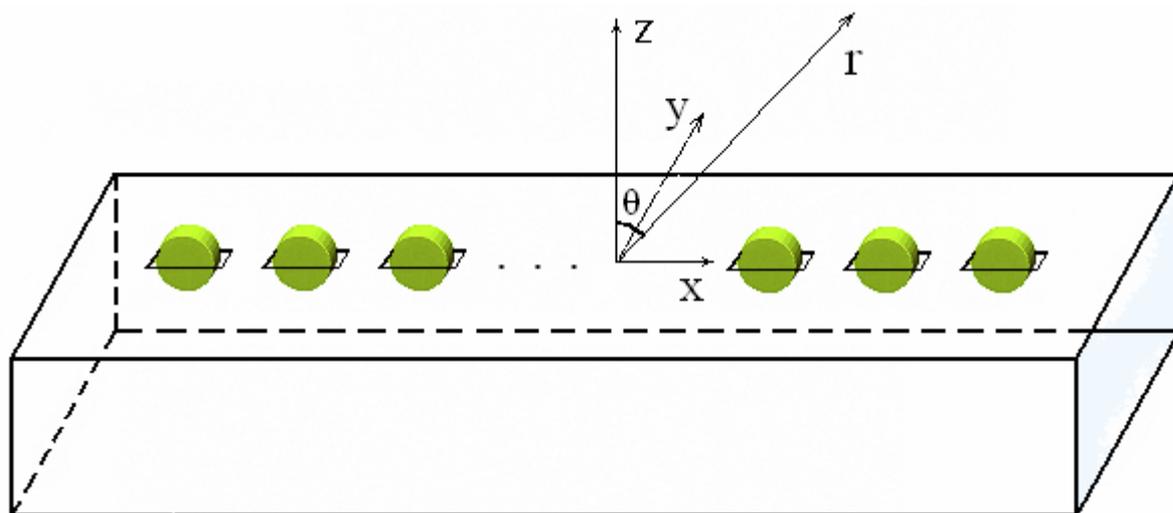


Рис. 1. Одномерна решітка в широкій стінці прямокутного волновода.

Розміри всіх ДР відповідають умові збудження в них основного магнітного типу коливань  $H_{101}$ . В волноводі ж розповсюджується тільки хвиля  $H_{10}$ . При падінні електромагнітної хвилі в системі резонаторів встановлюється режим зв'язаних вимушених коливань. В цьому випадку всі ДР зв'язуються між собою як реактивними, так і розповсюджуваними хвилями в відкритому просторі і волноводі (рис. 2). Будемо припускати, що поле з відкритого простору не проникає в об'єм волновода через апертури невеликих розмірів.

### Розрахунок параметрів антени

В розглянутому випадку діелектрична антена представляє собою багатозвенну структуру, що складається з кількох зв'язаних між собою ДР, попередньо налаштованих на фіксовану частоту  $\omega_0$  одного з власних коливань. Вплив інших ДР призводить до розщеплення частоти  $\omega_0$  на частоти зв'язаних коливань. Загальне число частот, що відповідають  $\omega_0$ , дорівнює числу резонаторів в системі. Всі необхідні параметри антени можна розрахувати, виходячи з представлення про малість збурень полем резонаторів, викладених в [4]. З цією метою спочатку задаються параметри матеріалу і координати ДР, геометричні

параметры резонаторов и волновода. На основании исходных данных вычисляются комплексные коэффициенты взаимной связи между резонаторами  $\kappa_{s,n}$ , после чего рассчитываются зависимости параметров матрицы отражения и передачи в частотной области, а также ДН антенны. На рис. 2 показана структура связей между парциальными ДР многоэлементной антенны, изображенных на рис. 1. Отдельные ДР обозначены точками, а коэффициенты взаимной связи – линиями, соединяющими соответствующие резонаторы, сплошными в открытом пространстве и пунктирными в волноводе. При этом предполагается, что вся система в целом излучает в открытое пространство и волновод как один многоэлементный резонатор.

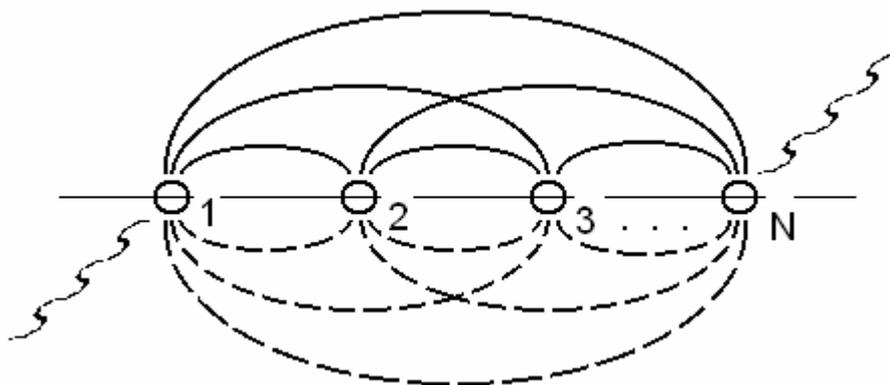


Рис. 2. Структура связей между парциальными ДР  
(Связь резонаторов в открытом пространстве — сплошная линия,  
связь резонаторов в волноводе — пунктирная линия).

В случае полуцилиндрических ДР, используемых в конструкциях данного типа, показанных на рис. 1, коэффициенты связи равны половинным значениям, рассчитанных с применением соотношений из [3, 5]. Для увеличения связи второй конец волновода необходимо закорачивать металлической перегородкой. При этом расстояние между закороткой и центром ближайшим ДР выбирается равным половине длины волны в волноводе.

При вычислении параметров антенн мы задавали следующие численные значения: частота колебаний  $H_{101}$  парциальных ДР  $f_0 = 4,173$  GHz, относительная диэлектрическая проницаемость материала резонаторов (ТБНС)  $\varepsilon_{1r} = 82$ ,  $(tg\delta)^{-1} = 2,5 \cdot 10^3$ . Относительные размеры ДР  $\Delta = L/(2r_0) = 0,4$ , где  $L$  - высота,  $2 \cdot r_0$  - диаметр диэлектрического цилиндра. Сечение прямоугольного волновода  $a \times b = 58 \times 25$  mm<sup>2</sup>. Считалось также, что центр каждой апертуры в металлической стенке располагается в плоскости симметрии прямоугольного волновода (рис. 1).

На рис. 3а приведены результаты расчета амплитуд вынужденных колебаний парциальных ДР для 5-ти резонаторной антенны. В результате проведенных вычислений показано, что ширина полосы коэффициента от-

раження указанной 5-ти элементной антенны по уровню -3 дБ для материала ТБНС превышает 9 % (рис. 3б), а сама характеристика отражения и передачи становится более прямоугольной.

Диаграммы направленности при  $\theta = 0,5$  и в  $E (\phi = 0, \pi)$  плоскости – показаны на рис. 4.

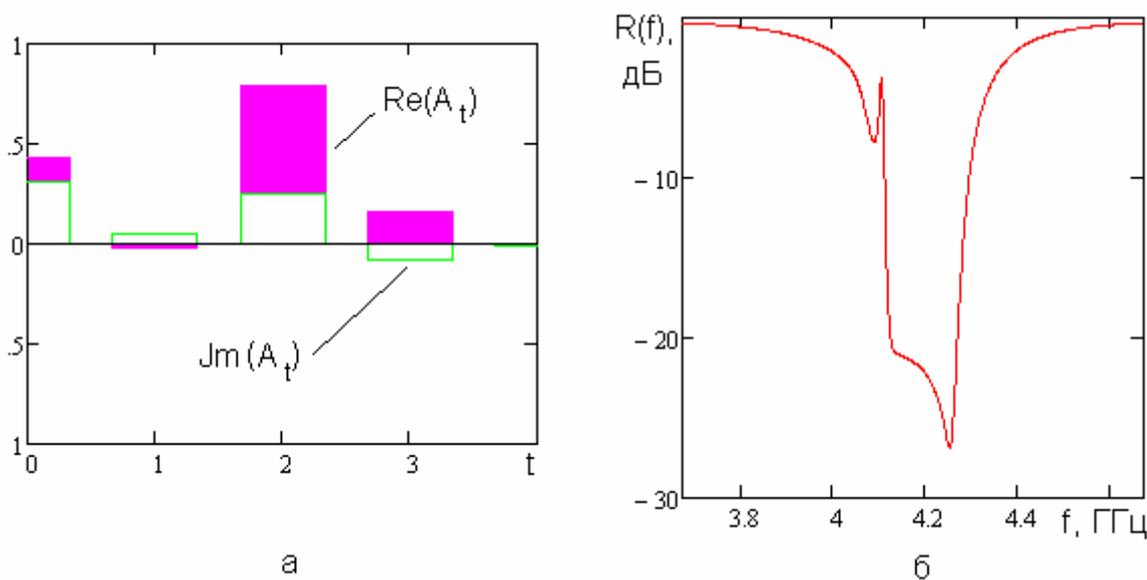


Рис. 3. Амплитуды вынужденных колебаний системы 5-и ДР, возбуждаемых бегущей волной прямоугольного волновода (а) и частотная характеристика коэффициента отражения 5-ти резонаторной антенны (б).

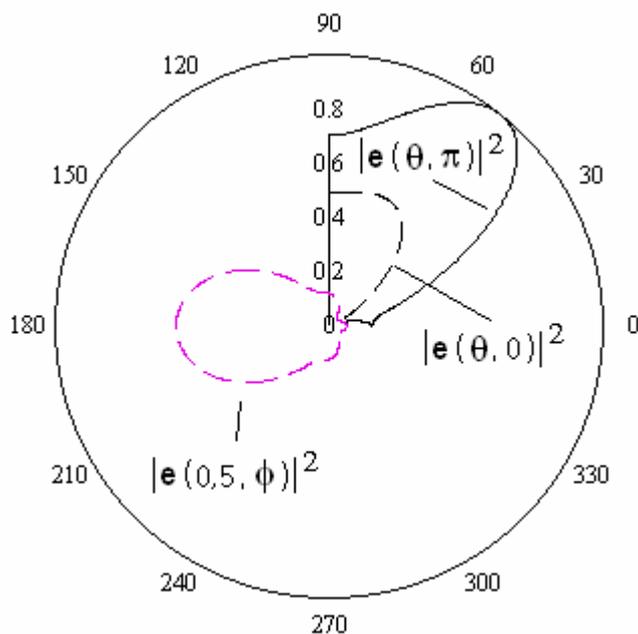


Рис.4. Характеристика направленности 5-звенной линейной антенны.

Из приведенных данных видно, что ДН антенны является двух – лепестковой. Основной лепесток несколько наклонен в направлении источника излучения в волноводе.

### **Выводы**

Проведенное исследование показало возможность существенного расширения полосы частот антенны за счет расположения ДР вдоль оси линии передачи даже при использовании материалов с повышенными значениями относительной диэлектрической проницаемости. Приведенная в работе структура антенной решетки отличается простотой конструкции и в отличие от других известных конструкций, представленных в [2], не требует дополнительной разводки для обеспечения необходимого распределения амплитуд парциальных резонаторов.

### **Литература**

1. Ильченко М.Е. Исследование антенны с открытым диэлектрическим резонатором // Изв. вузов. Радиоэлектроника — 1978. — № 1. — С. 15-18.
2. Luk K.M., Leung K.W. Dielectric Resonator Antennas // Research studies press ltd. Baldock, Hertfordshire, England, 2003, 388 p.
3. Трубин А.А. Исследование характеристик излучения дискового диэлектрического резонатора // Вестник Киевского политехнического института. Радиотехника. — Вып. 21. — 1984. — с. 29-33.
4. Трубин А.А. Резонансные диэлектрические антенны Тр. 14-й Международной Крымской конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. Севастополь. 2004, с. 366-367.
5. Ильченко М.Е., Трубин А.А. Электродинамика диэлектрических резонаторов. Киев. — Наукова думка — 2004 — 265 с.

*Трубін О.О. Мікрохвильова антена на основі лінійної решітки зв'язаних діелектричних резонаторів у хвилеводі. Наведені результати електродинамічного синтезу п'яти елементної антени, що виконана з використанням циліндричних діелектричних резонаторів, розміщених в прямокутних апертурах в металічній стінці хвилеводу. Показано, що антени цього типу мають широкі смуги випромінювання.*

*Ключові слова: мікрохвильова антена, діелектричний резонатор, антена решітка*

*Трубин А.А. Микроволновая антенна на основе линейной решетки связанных диэлектрических резонаторов в волноводе. Приведены результаты электродинамического синтеза пяти - звенной антенны, выполненной с применением цилиндрических диэлектрических резонаторов, расположенных в прямоугольных апертурах в металлической стенке волновода. Показано, что антенны этого типа обладают более широкими полосами излучения.*

*Ключевые слова: микроволновая антенна, диэлектрический резонатор, антенная решетка*

*Trubin A.A. The microwave antenna on the basis of a linear lattice connected dielectric resonators in waveguide. Its electrodynamic synthesis results of five-element antenna on cylindrical dielectric resonators situated in the apertures in metal waveguide surface has been given. Investigated antennas have acceptable radiation pattern and more wide frequency band.*

**Key words:** *microwave antenna, a dielectric resonator, an antenna lattice*