

РАСSEЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА ПЛАНАРНЫХ РЕШЕТКАХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ

Трубин А.А., д. т. н., профессор

Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт", г. Киев, Украина

Вступление. Постановка задачи

Впервые задача рассеяния электромагнитных волн на решетках, состоящих из связанных ДР, была сформулирована в работе [1]. Как оказалось, подобные решетки удобны для реализации пространственно - частотной селекции электромагнитных импульсов и в будущем смогут найти практическое применение в антенных устройствах микроволнового и миллиметрового диапазонов длин волн.

Дальнейшее развитие этого нового направления исследований открытых структур видится в изучении более детальных электромагнитных свойств в зависимости от видов решеток, типов собственных колебаний ДР, вида источников возбуждения и пр.

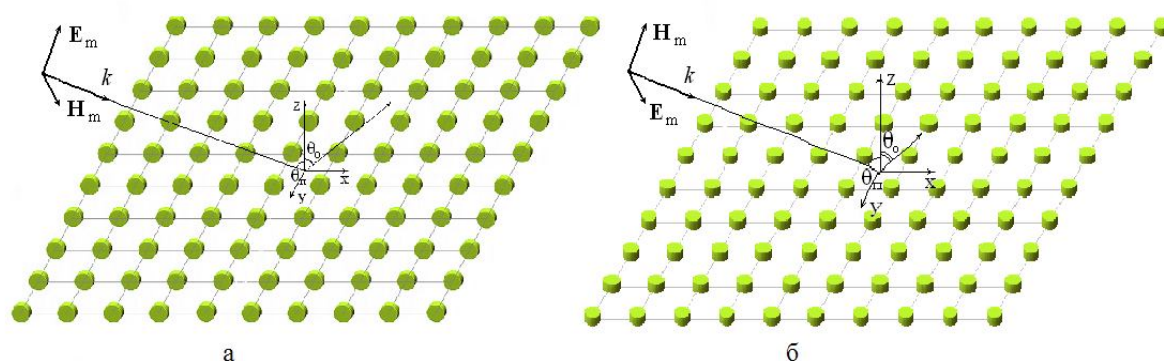


Рис. 1. 10x10 решетки цилиндрических ДР

Основная трудность расчета решеток, выполненных на основе ДР, заключается в плохой прогнозируемости распределения амплитуд каждого из парциальных резонаторов при облучении системы в области частот связанных колебаний. Приближенное решение этой задачи удастся получить, применив теорию возмущений [2], учитывая при этом необходимые фазовые соотношения, имеющие место при возбуждении и излучении волн.

В настоящей работе рассмотрены результаты расчета параметров рассеяния плоской электромагнитной волны в открытом пространстве на квадратных решетках, состоящих из 10x10 цилиндрических ДР, показанных на рис. 1, каждый из которых возбуждается на основном типе магнит-

ных колебаний H_{101}^+ .

Конструкция и результаты исследований

На рис. 1 показано расположение систем координат для двух различных видов решеток, отличающихся между собой ориентацией осей цилиндрических ДР.

Для падающей волны, в общем случае, можно также выделить две основные поляризационные возможности ориентации относительно плоскости решеток:

А – вектор напряженности магнитного поля падающей волны \vec{H}_m^+ направлен ортогонально плоскости падения (см. напр. Рис. 1, а) и

Б - вектор напряженности электрического поля падающей волны \vec{E}_m^+ направлен ортогонально плоскости падения (Рис. 1, б).

В первом случае, поле падающей волны (\vec{E}_m^+, \vec{H}_m^+) более эффективно взаимодействует с резонаторами решетки с ориентацией ДР, показанной на рис. 1, а; во втором - поле более сильно воздействует на решетку, показанную на рис. 1, б.

Предполагается также, что волновой вектор падающей волны \vec{k} направлен под углами $(\theta_{\text{п}}, \varphi_{\text{п}})$ в локальной сферической системы координат, связанной с «центром» решетки, а волновой вектор рассеянной волны в дальней зоне, в точке приема, направлен под углами $(\theta_{\text{о}}, \varphi_{\text{о}})$ в той же системе координат. Реально нами вычислялась нормированная плотность потока мощности рассеянного поля в волновой зоне при фиксированных значениях $\varphi_{\text{п}}$ и $\varphi_{\text{о}}$. Значения азимутального угла отражения выбиралось из условия достижения в данной направлении глобального максимума лепестка рассеяния. Такой максимум, как показали численные исследования, обычно реализуется в плоскости падающей волны: т. е. при условии $\varphi_{\text{о}} = \varphi_{\text{п}}$, либо $\varphi_{\text{о}} = \varphi_{\text{п}} + \pi$. Т.о., во всех перечисленных случаях, нами рассчитывалась зависимость $|\vec{e}(\theta_{\text{о}})|^2 / |\vec{e}(\theta_{\text{max}})|^2$ при фиксированных значениях $(\theta_{\text{п}}, \varphi_{\text{п}})$. Расчетная модель рассеяния строилась на базе теории возмущений для уравнений Максвелла с применением разложения поля рассеяния в резонансной области по связанным колебаниям поля системы ДР [2]. Коэффициенты связи цилиндрических ДР в открытом пространстве рассчитывались по формулам, приведенным в [3, 4].

На рис. 2 приведены результаты вычисления плотности потока мощности рассеянного поля от квадратной решетки, изображенной на рис. 1, а, содержащей 10×10 ДР, состоящих из диэлектрика $\epsilon_{1r} = 36$; относительных размеров $\Delta = \frac{L}{2r_0} = 0,4$. Расстояние между центрами соседних ДР $d = 3\lambda_0/4$. Здесь L – высота, $2r_0$ – диаметр ДР решетки; λ_0 – длина волны в открытом пространстве. Направление волнового вектора падающей волны на рисунке показано пунктирной линией. В случае, изображенном на рис.

1, а, $\theta_{\pi} = 0$.

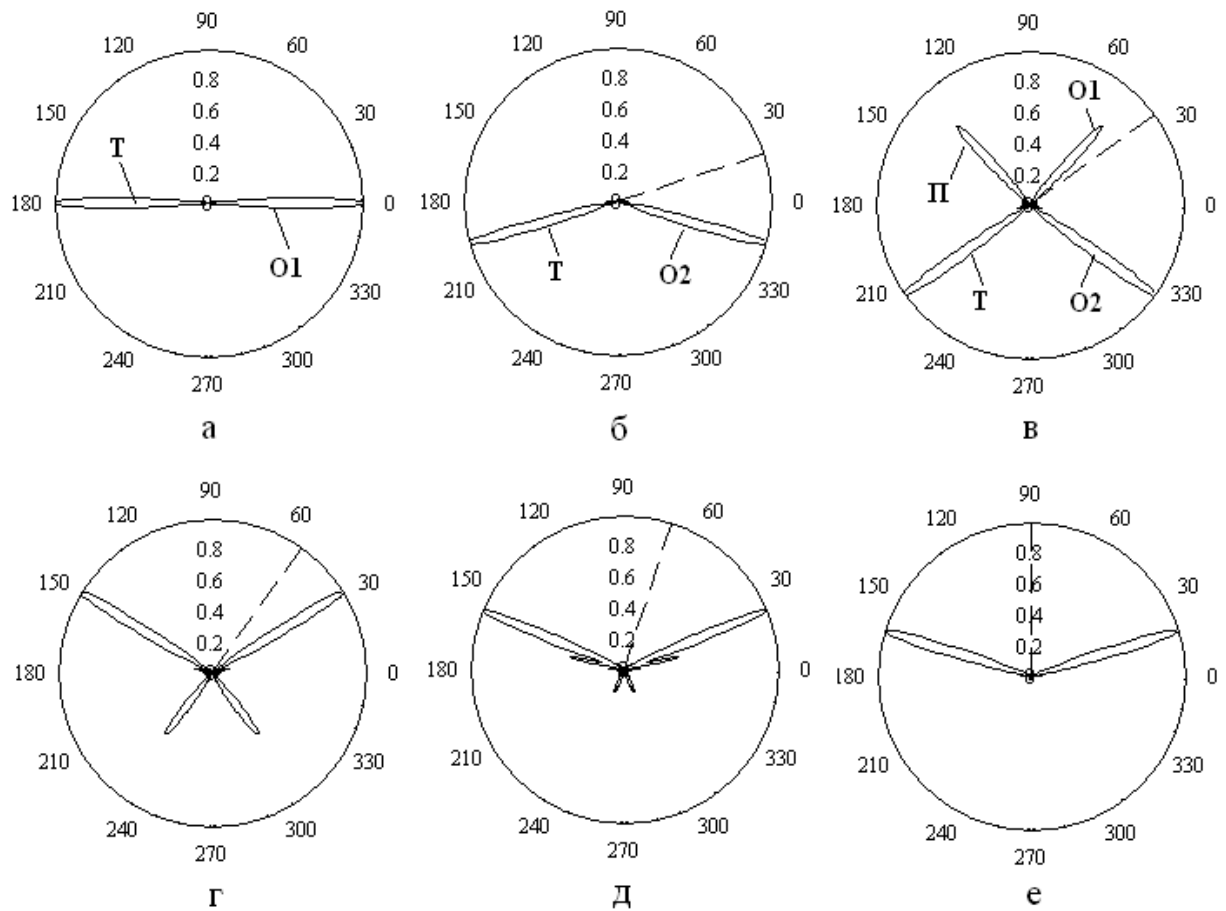


Рис. 2 Распределение рассеянного поля решетки конструкции А, показанной на рис. 1 а.

Как следует из проведенных вычислений, для углов падения, лежащих в пределах $0 \leq \theta_{\pi} \leq \frac{\pi}{4}$, наблюдаются отраженные лепестки, направленные под углом $-\theta_{\pi}$ относительно нормали к поверхности решетки (O2, рис. 2, а – в). Такие лепестки хорошо интерпретируются законом отражения Снеллиуса. В тех случаях, когда лепесток излучения направлен вдоль волнового вектора падающей волны, его можно назвать «теньвым», поскольку фаза поля резонансного рассеяния сдвинута примерно на π относительно фазы падающего и суммарное поле дифракции в этом направлении будет значительно ослабленным. Указанные теньвые лепестки рассеяния на рис. 2, а, в отмечены буквой Т. Появление дополнительных лепестков рассеянного поля при $d \geq 3\lambda_0/4$ никак не поддается интерпретации в рамках законов Снеллиуса (рис. 2, г - е). В некоторых частных случаях можно только условно говорить о появлении преломленной волны П, распространяющейся со стороны полуплоскости источника (рис. 2, в).

В области $\theta_{\pi} \geq \pi/4$ (рис. 2, в, г) наблюдается также несколько неклассических направлений рассеяния. Интересно, что на принципиальную воз-

можность возникновения нескольких волн рассеяния указывал Мандельштам [5].

Пример расчета рассеянного поля для $d = \lambda_0/4$ в случае расположения ДР, показанного на рис. 1, б, приведены на рис. 3. Видно, что в этом случае

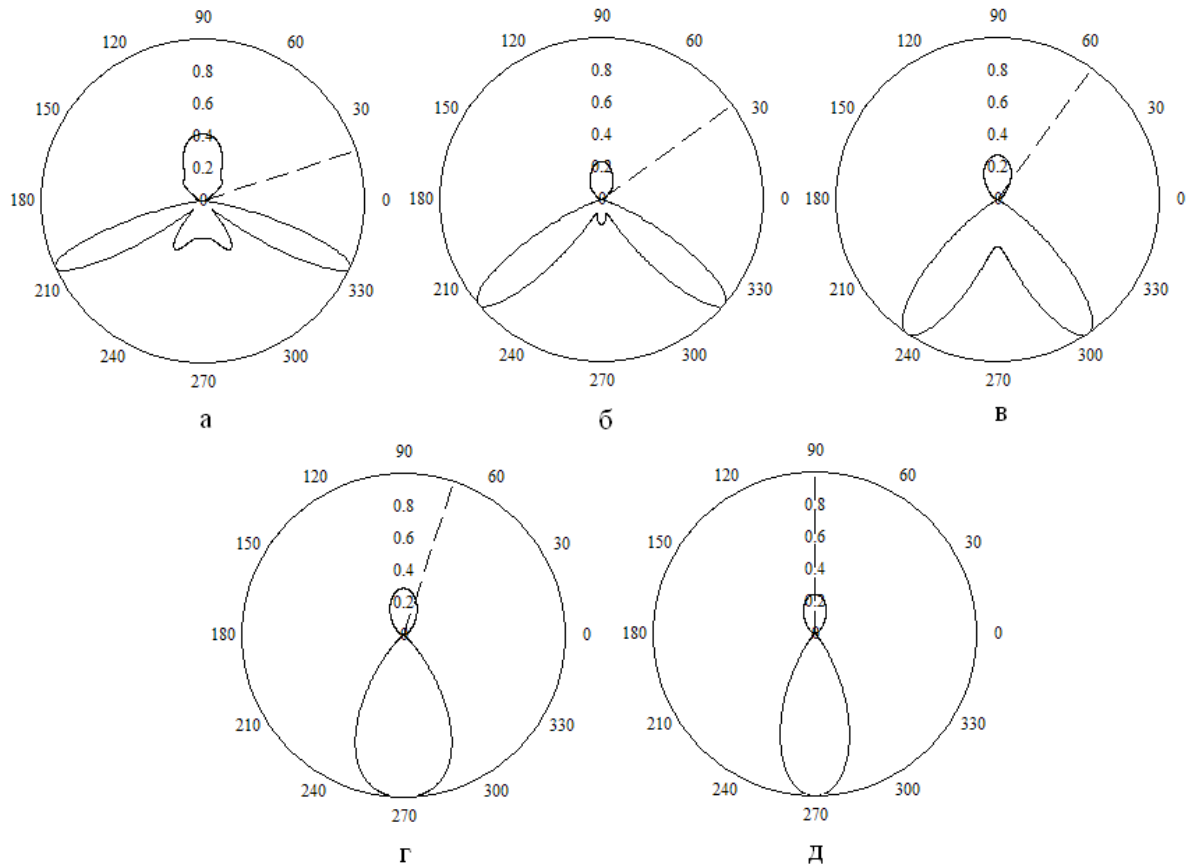


Рис. 3. Распределение рассеянного поля от решетки конструкции Б (рис.1, б)

при незначительных относительных расстояниях между соседними резонаторами, для большинства углов падения наблюдается только один теневой и один лепесток рассеяния (см. рис.3, а также [1]). Угол «отражения» для рассеянного поля θ_0 приблизительно совпадает с углом падения $\theta_{ст}$ и можно говорить о выполнении законов Снеллиуса в более широком интервале углов. В данном случае, как видно из приведенных данных, наблюдаются также небольшие дополнительные лепестки, возникающие в плоскости решетки.

В целом, «лучшие» диаграммы рассеяния характерны для решеток первого типа (рис.1, а).

Выводы

Поведение решеток при незначительных относительных расстояниях между соседними резонаторами и небольших значениях углов падения хорошо соответствует поведению частотно-селективных отражающих по-

верхностей, для которых приближенно выполняются законы Снеллиуса. При резонансном рассеянии на диэлектрических решетках возникает «тенево́й» лепесток, направленный вдоль волнового вектора падающей волны. В направлениях падения, лежащих вблизи плоскости решетки, наблюдается ряд направлений рассеяния, не подчиняющихся законам Снеллиуса. Подобные решетки могут использоваться в качестве селективных отражателей при борьбе с помехами, для разделения каналов непосредственно в антенных системах и пр.

Литература

1. Трубин А.А. Рассеяние электромагнитных волн на плоской квадратной решетке цилиндрических диэлектрических резонаторов // «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь. 2009, с. 405-407.
2. Трубин А.А. Рассеяние электромагнитных волн на системах связанных диэлектрических резонаторов // Радиоэлектроника, №2, 1997, с. 35-42.
3. Трубин О.О., Шмиглюк Г.С. Моделивання параметрів антенної решітки на циліндричних діелектричних резонаторах // Вестн. Київ. политехн. ін-та. Радіотехніка, Радіо апаратобудування. - 2006.- Вып. 33. С. 101-108.
4. Трубин А.А. Исследование характеристик излучения дискового диэлектрического резонатора // Вестник Киев. Политехн. Ин-та, Радиотехника, вып. 21, 1984, с. 29-33.
5. Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов, Т.5. М.: АН СССР. - 1950. - С. 461 - 467.

Трубин О.О. Розсіювання електромагнітних хвиль на планарних решітках діелектричних резонаторів. Наведено результати чисельного рішення задачі розсіювання плоских електромагнітних хвиль у відкритому просторі на планарній решітці циліндричних діелектричних резонаторів (ДР). Кожен з резонаторів решітки збуджується на основному азимутально-однорідному коливанні магнітного типу. Розглянуто загальні закономірності просторового розподілу розсіяного поля в дальній зоні. Досліджено умови виникнення неklasичного розсіювання, що відхиляється від законів Снеллиуса. Показана можливість застосування плоских решіток ДР як частотно-селективних відбиваючих поверхонь. Вперше передбачено існування "тіньового" пелюстка розсіяного поля, що характеризується зниженою щільністю потоку потужності сумарного поля в хвильовій зоні.

Ключові слова: електромагнітні хвилі, розсіювання, діелектричні резонатори, решітка

Трубин А.А. Рассеяние электромагнитных волн на планарных решетках диэлектрических резонаторов. Приведены результаты численного решения задачи рассеяния плоских электромагнитных волн в открытом пространстве на квадратной решетке цилиндрических диэлектрических резонаторов (ДР). Каждый из резонаторов решетки возбуждается на основном азимутально-однородном колебании магнитного типа. Рассмотрены общие закономерности пространственного распределения рассеянного поля в дальней зоне. Исследованы условия возникновения неклассического рассеяния, отклоняющегося от законов Снеллиуса. Показана возможность применения плоских решеток ДР в качестве частотно-селективных отражающих поверхностей. Впервые предсказано существование «теневого» лепестка рассеянного поля, характеризуемого пониженной плотностью потока мощности суммарного поля в волновой зоне.

Ключевые слова: електромагнітні хвилі, розсіяння, діелектричні резонатори, решітка

*A.Trubin **The scattering of electromagnetic waves by planar lattice of dielectric resonators.** Its present an investigation numerical results of the problem scattering plane electromagnetic waves on dielectric resonator square lattices. Every resonator of lattice is excited on main azimuthally symmetric oscillation of it magnetic mode. It's examined common mechanism spatial distribution of scattering field in remote zone. Non-classical scattering conditions is occurrence from bending the Snell laws, was investigated. Its show possibility DR plane lattices using as frequency selective reflecting surfaces. For the first time has predicted the "shady" lobe of scattering field is characterize by depressed thickness of power stream of total field in remote zone.*

Keywords: electromagnetic wave scattering, dielectric resonators, the lattice