

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТОКОВ В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧЕК РЕЗОНАНСА ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ

Т. Н. Галишникова, А. С. Ильинский

Резонансные явления, возникающие в дифракционных решетках, находят широкое использование при конструировании различных антенных устройств, в технике СВЧ, в создании различных фильтров. В связи с этим представляет интерес исследовать режимы возникновения резонансных эффектов, к которым относятся, в частности, условия полного прохождения падающего поля или полного отражения его дифракционными решетками [1, 2]. Для некоторых конкретных периодических структур в определенном волновом диапазоне получены аналитические выражения для экстремальных значений коэффициентов рассеянного поля в зависимости от параметров решетки [3]. Эти соотношения объясняют природу прозрачности структуры или ее отражательную способность в рабочем диапазоне частот [3-6].

В настоящей работе численно исследуются резонансные явления, возникающие при дифракции H -поляризованной плоской волны на периодической структуре из прямоугольных брусьев. Основная трудность численного решения краевой задачи для поля H -поляризации заключается в том, что граница области имеет угловые точки, в окрестности которых гладкость решения понижается. Этим объясняется тот факт, что распределение тока на поверхности дифрагирующего тела с кусочно-гладкой поверхностью не только аналитически, но и численно изучено недостаточно. В предлагаемой работе резонансные явления исследуются с помощью наводимых на элементах решетки токов. Распределение токов получается путем решения интегрального уравнения Фредгольма II рода. Численный метод, используемый при решении интегрального уравнения, позволяет получить нужную особенность в окрестности ребра [7].

Рассмотрим задачу дифракции H -поляризованной волны $H_z^0(x, y) = u_0(x, y) = \exp[ik(-x \cos \theta - y \sin \theta)]$ (k — волновое число, θ — угол падения плоской волны с осью Ox) на периодической эквидистантной решетке из прямоугольных цилиндров, размеры поперечного сечения которых есть h и l . Элементы решетки предполагаются идеально проводящими, вся решетка находится в свободном пространстве. Зависимость от времени принята $\exp(-i\omega t)$, период решетки обозначим через b . Рассматриваемая задача сводится к решению однородного уравнения Гельмгольца $\Delta u(x, y) + k^2 u(x, y) = 0$ $u(x, y) = H_z(x, y)$ в области вне решетки. Искомое полное поле удовлетворяет на поверхности решетки условию $du(x, y)/dn = 0$, в окрестности ребер — условию Мейкснера, а на бесконечности рассеянное поле удовлетворяет условию излучения. Поставленная таким образом краевая задача имеет решение, причем единственное. Искомое решение ищется в классе функций, удовлетворяющих условию Флоке с параметром $t = -kb \sin \theta$.

Полное поле удовлетворяет интегральному уравнению

$$\frac{1}{2} u(M) + \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\partial G(M, P)}{\partial n_P} u(P) ds_P = u_0(M), \quad M \in S, \quad (1)$$

где $G(M, P)$ — квазипериодическая функция Грина, аналитический вид которой приведен, например, в работе [8].

Для численного решения интегрального уравнения (1) на отрезке интегрирования $[0, L]$, где L — длина контура, вводится сетка с шагом, постоянным на каждой стороне прямоугольника S . Сетка строится таким образом, что углы являются точками разбиения. Приближенное решение ищется в точках $s_{i+1/2}$ путем решения системы линейных алгебраических уравнений. Алгоритм численного решения интегрального уравнения выбран таким образом, что несмотря на ухудшение дифференциальных свойств решения в окрестности угловых точек при конечном достаточно малом шаге h получается устойчивый результат.

При численном анализе электродинамических свойств дифракционных решеток из прямоугольных брусьев исследовались поведение коэффициентов отражения R_0 и прохождения T_0 для рассеянного поля и наводимые токи. Знание поведения токов для широкого диапазона параметров периодической структуры с идеально проводящими элементами и характер его изменения в окрестности резонансных точек позволяет, например, объяснить закономерности поглощения тепловой энергии в периодических структурах с элементами, обладающими конечной проводимостью, поскольку тепловые потери могут быть рассчитаны, в частности, методом возмущений [9].

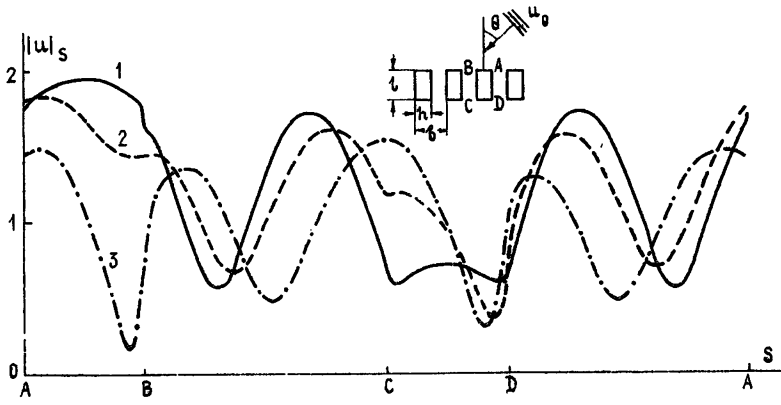


Рис. 1.

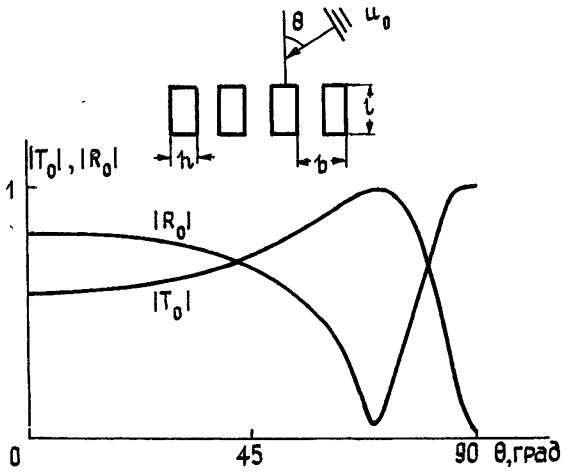


Рис. 2.

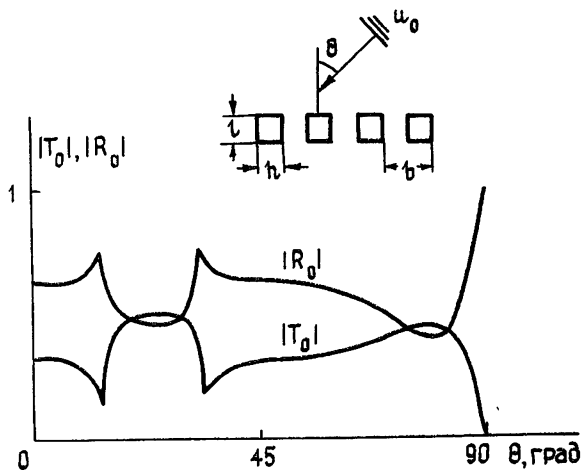


Рис. 3.

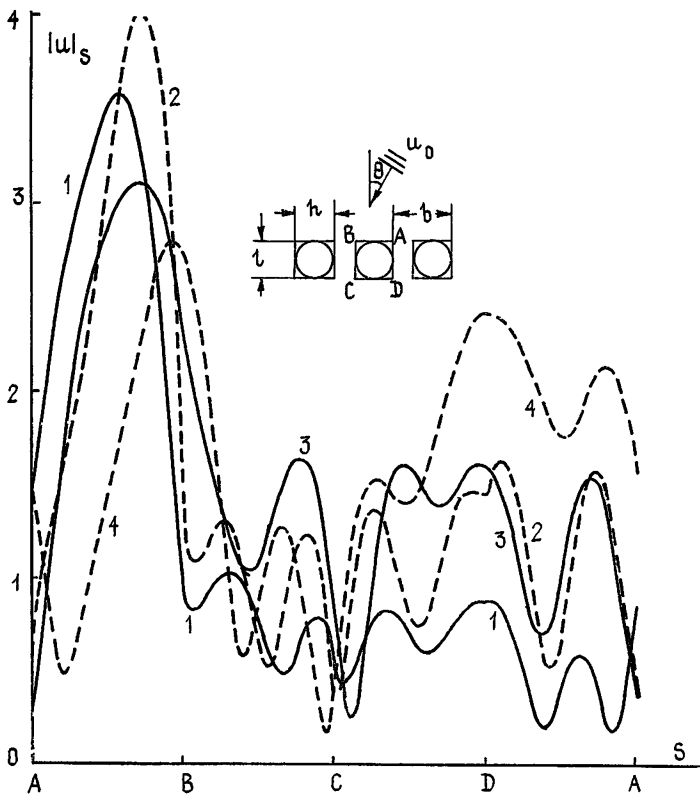


Рис. 4.

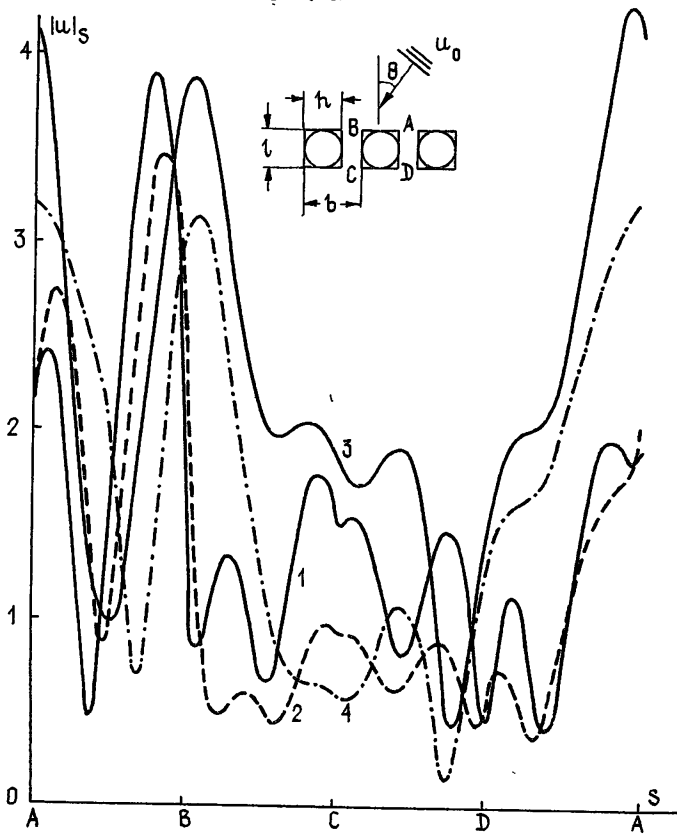


Рис. 5.

Численные результаты, приведенные на рис. 1, 2, получены при таких параметрах идеально проводящей решетки, когда рассеянное поле во всем диапазоне углов сканирования имеет лишь одну распространяющуюся гармонику, остальные затухают (кривые на рис. 1, 2 получены при $\kappa=0,5$, $l/h=2$, $h/b=0,65$). Как показали численные эксперименты, наводимые токи при изменении угла θ меняются мало (см рис. 1, где кривая 1 построена при $\theta=0^\circ$, $2-0=50^\circ$, $3-0=75^\circ$), поэтому зависимости $|R_0|$ от θ и $|T_0|$ от θ (рис 2) имеют плавный характер, без аномалий. При рассматриваемой поляризации поля плоские волноводы конечной длины, образуемые элементами решетки, пропускают одну волноводную волну, соответствующую $n=0$, поэтому поле за решеткой значительно почти во всем диапазоне углов θ

Увеличение волнового параметра $\kappa=b/\lambda$, λ — длина волны в свободном пространстве, приводит к усложнению зависимости R_0 и T_0 от θ . На рис 3 приведены результаты расчетов для решетки из квадратных брусьев при $\kappa=1,3$ ($l/h=1$, $h/b=0,65$) Для такой структуры зависимости коэффициентов R_0 и T_0 от θ имеют более сложный характер, чем приведенные на рис 1, появляются два критических угла θ на интервалах (13° , 14°) и (32° , 33°), при переходе через которые изменяется распределение энергии поля по гармоникам Как меняется распределение тока в окрестности критических параметров, показано на рис 4,5 (кривые построены при $\kappa=1,3$, $l/h=1$, $h/b=0,65$). На рис. 4 при $\theta=13^\circ$ (кривые 1, 3) и $\theta=14^\circ$ (кривые 2, 4) приведены распределения токов для решеток из квадратных (кривые 1, 2) и круглых (кривые 3, 4) брусьев. Характер тока резко меняется не только при переходе через критические углы, но и существенно зависит от формы контура S . Этот же вывод подтверждается и приведенными на рис 5 результатами численных расчетов токов при $\theta=32^\circ$ (кривые 1, 3) и $\theta=33^\circ$ (кривые 2, 4) для решеток из квадратных (кривые 1, 2) и круглых (кривые 3, 4) брусьев

ЛИТЕРАТУРА

1. Шестопалов В. П., Литвиненко Л. Н., Масалов С. А., Сологуб В. Г. Дифракция волн на решетках. — Харьков. Гос ун-т, 1973 — 288 с
2. Нефедов Е. И., Сивов А. Н. Электродинамика периодических структур — М.: Наука, 1977 — 208 с.
3. Казанский В. Б., Литвиненко Л. Н., Савенко Н. Г., Шестопа- лов В. П. — Укр физ журн., 1970, 15, № 10, с. 1619
4. Казанский В. Б., Литвиненко Л. Н., Савенко Н. Г., Шестопа- лов В. П. — Укр. физ. журн., 1970, 15, № 11, с 1800
5. Масалов С. А., Сиренко Ю. К. — Укр физ. журн, 1978, 23, № 9, с. 1439.
6. Казанский В. Б. — Радиотехника и электроника, 1974, 19, № 7, с 1514
7. Миттра Р., Ли С. Аналитические методы теории волноводов — М. Мир, 1974. — 372 с.
8. Галишишникова Т. Н., Ильинский А. С. В кн. Вычислительные методы и программирование. — М. Гос. ун-т, 1975, вып. 24, с. 235.
9. Слепян Г. Я., Слепян А. Я. — Письма в ЖТФ, 1979, 5, № 21, с. 1316.

Московский государственный
университет

Поступила в редакцию
10 января 1984 г.

УДК 621.372.413.621.372.8

РЕЗОНАТОРЫ ФАБРИ—ПЕРО СО ЩЕЛЕВЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ СВЯЗИ

В. Г. Павельев, Ш. Е. Цимринг

Несмотря на высокую селективность резонаторов Фабри—Перо задача дальней- шего разрезания спектра является для них достаточно важной. Одна из возмож- ностей состоит в использовании связанных резонаторов В лазерных структурах селек- ция колебаний с помощью связанных резонаторов обеспечивается за счет частотной зависимости коэффициента отражения от внутреннего зеркала или как следствие частотной зависимости радиационных потерь [1]. В СВЧ диапазоне в структурах с открытыми двухзеркальными резонаторами в качестве элементов связи предст- авляют интерес настроенные полуволновые щели, у которых сильно выражены радиа- ционные потери

Рассмотрим систему двух резонаторов Фабри—Перо, связанных через щель (рис. 1). В связанной системе спектр содержит синфазные и противофазные нормальные колебания. Покажем, что при использовании полуволновых щелей связь имеет место дискриминация синфазных колебаний и несвязанных колебаний отдельных резона- торов, обусловленная наличием сильного электрического поля на щелевых элементах связи Поэтому добротными оказываются только противофазные колебания системы, имеющие редкий спектр. Расчет добротности усложняется из-за необходимости учета