

## Отражательная решетка из перфорированных лент как частотно-селективная поверхность

А. А. Кириленко, Л. П. Мосьпан

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины,  
ул. Ак. Проскуры, 12, г. Харьков, 61085, Украина  
E-mail: lyuda@ire.kharkov.ua*

*Статья поступила в редакцию 12 ноября 2010 г.*

Исследовано рассеяние плоской монохроматической волны дифракционной решеткой из металлических лент, периодически перфорированной прямоугольными отверстиями. Показано, что такая решетка обеспечивает резонансное отражение падающей волны. Рассмотрено влияние геометрических размеров решетки на частоту и добротность резонанса отражения. Для физической интерпретации эффекта полного отражения решена задача о спектре собственных колебаний в комплексной области частотного параметра. Представлены результаты численного моделирования многослойных фильтров с улучшенной частотной избирательностью.

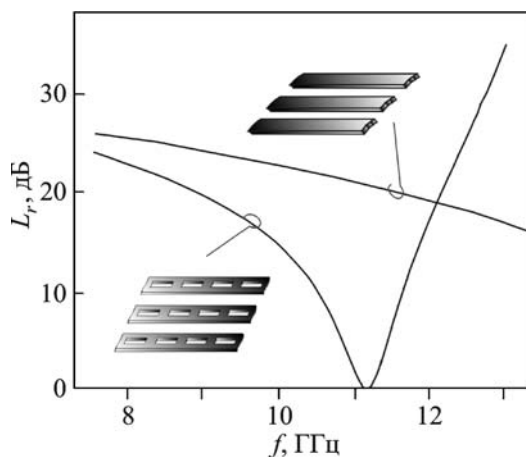
**Ключевые слова:** частотно-селективная поверхность, резонанс отражения, собственные колебания, полюс замирания, полосовой фильтр

### 1. Введение

Одномерно периодические дифракционные решетки из металлических проводников различной формы широко используются в антенно-фидерных трактах в качестве устройств, обеспечивающих эффективное частотное разделение сигналов, – пространственных и поляризационных фильтров, антенных диплекторов, преобразователей поляризации, фазовращателей и пр. Дифракционные свойства этих решеток исследованы таким количеством авторов, что при цитировании литературы уже уместно ссылаться не на отдельные статьи, в которых приводятся результаты решения частных задач, а на монографии, в которых производится обобщение и систематизация результатов многочисленных аналитических, численно-аналитических и экспериментальных исследований [1-4]. Таким образом, можно говорить об установлении общих качественных закономерностей резонансного и нерезонансного рассеяния волн на решетках различных типов и геометрий.

Вместе с тем, в свете ужесточения требований, предъявляемых к современным системам селекции сигналов, освоения новых частотных диапазонов, появилась тенденция к более “глубокому” изучению свойств даже простейших рассеивателей. Ярким примером тому является, например, исследование явления аномально большого прохождения падающей линейно поляризованной волны через ленточные решетки [5]. С другой стороны, путем модификации геометрии можно придать решеткам новые свойства. В частности, в настоящей статье речь пойдет о том, что периодическое перфорирование металлических проводников решетки приводит к качественному изменению ее рассеивающих свойств. В работе исследованы дифракционные свойства решетки из металлических лент, периодически перфорированных прямоугольными отверстиями. Как будет показано ниже, такая решетка демонстрирует ярко выраженные резонансные свойства, а именно узкополосное резонансное отражение плоской электромагнитной волны, вектор электрического поля которой ориентирован в плоскости

решетки перпендикулярно ее проводникам. Типичная частотная характеристика обратных потерь  $L_r = -20 \lg |S_{11}^{11}|$  (где  $|S_{11}^{11}|$  – модуль коэффициента отражения падающей волны) такой решетки из перфорированных лент приведена на рис. 1. Там же для сравнения показана частотная характеристика классической одномерно периодической решетки. Важно отметить, что этот эффект не является характерным для ленточных решеток, – ранее это явление узкополосного отражения обычно рассматривалось как характерное свойство решеток из полуволновых вибраторов [6-8]. В работе проведено численное исследование влияния различных геометрических параметров решетки на количественные характеристики формируемого ею резонанса полного отражения – положение резонанса и его добротность. С целью физической интерпретации такого нетривиального резонансного поведения использован метод, основанный на анализе собственных колебаний открытых волноводных резонаторов, решена соответствующая спектральная задача – краевая задача при комплексных значениях частотного параметра. И наконец, в качестве практического приложения полученных физических результатов в работе предложены конструкции полосовых

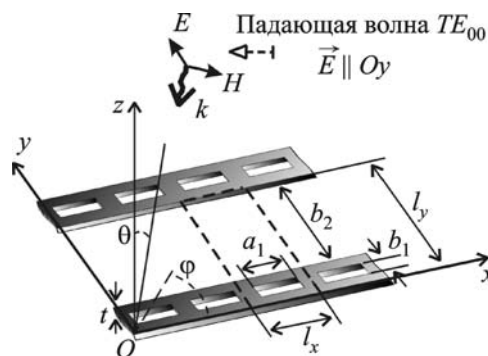


**Рис. 1.** Частотные характеристики обратных потерь  $L_r$  классической решетки и решетки из перфорированных лент с одной прямоугольной апертурой на периоде

фильтров с повышенной частотной избирательностью: фильтра, обеспечивающего подавление сигналов на двух значительно разнесенных частотах, и полосно-пропускающего фильтра с квазиэллиптической частотной характеристикой.

## 2. Численное моделирование и интерпретация результатов

Периодическая перфорация лент дифракционной решетки переводит одномерно периодическую решетку в класс двумерно периодических моделей, что приводит к более сложному, трехмерному, характеру волновых полей. Чтобы полностью исследовать рассеяние поля такой решеткой, необходимо решить соответствующую векторную (трехмерную) краевую задачу. Для решения этой задачи в соответствии с принципом декомпозиции исследуемая решетка представляется в виде пары последовательно расположенных на расстоянии  $t$  элементарных неоднородностей. Элементарной неоднородностью здесь является плоскостное соединение волновода Флоке, поперечное сечение которого совпадает с сечением периодической ячейки перфорированной решетки  $l_x \times l_y$  (см. рис. 2), и двух волноводов – прямоугольного с поперечными размерами  $a_1 \times b_1$  и плоскопараллельного с размерами  $l_x \times b_2$  (по сути это зазор между лентами решетки). По этим двум



**Рис. 2.** Решетка из перфорированных лент с одной прямоугольной апертурой на периоде и ее элементарная ячейка

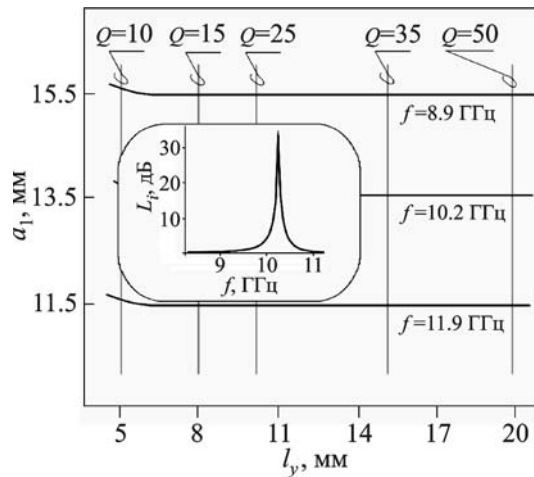
волноводам и организуется связь между элементарными неоднородностями. Задача дифракции на элементарной неоднородности решается методом частичных областей (МЧО). В свою очередь, с помощью метода обобщенных матриц рассеяния по найденной матрице рассеяния элементарной неоднородности восстанавливается полная матрица рассеяния всего объекта. Ограничимся кратким изложением схемы реализации МЧО. Ее общая часть детально изложена в [9] применительно к задаче дифракции на плоскостном соединении волноводного канала большего сечения и двух волноводных каналов меньшего сечения. Реализация МЧО применительно к рассматриваемой задаче отличается только видом собственных функций сочленяемых волноводных трактов. Вид базисных функций свободного пространства и прямоугольного волноводного канала известен – это соответственно гармоники Флоке (с экспоненциальной зависимостью по обеим поперечным координатам) и функции прямоугольного волновода с синусоидальной (или косинусоидальной) зависимостью по поперечным координатам [10]. Вид базисных функций плоскопараллельного волновода является характерной особенностью данной задачи. Эти функции описывают синусоидальное (косинусоидальное) распределение по одной координате и экспоненциальное распределение (как у гармоники Флоке) по второй координате. Электромагнитные поля в сочленяемых каналах моделируются разложением в ряды Фурье по соответствующим системам этих функций. Используя граничные условия, условие непрерывности полей на общей границе сочленяемых каналов, свойства полноты систем их собственных функций и применяя проекционную процедуру, получаем бесконечную систему линейных алгебраических уравнений второго рода, неизвестные коэффициенты которой и есть искомые элементы матрицы рассеяния ключевой неоднородности. При алгоритмизации этой математической модели бесконечное число уравнений системы заменяется конечным с соблюдением условия приблизительного равенства частот отсечки наивысших мод в регулярных волноводах. Для контроля за

правильностью реализации численного алгоритма используется проверка выполнения соотношений взаимности для волн сочленяемых волноводов и закона сохранения энергии.

На основе описанной выше математической модели были исследованы характеристики рассеяния дифракционной решетки из перфорированных лент при падении на нее  $TE_{00}$ -волны, вектор электрического поля которой в плоскости лент ориентирован перпендикулярно щелям (см. рис. 2). Толщина решетки  $t$ , расстояние между лентами решетки  $b_2$ , размеры периодической ячейки  $l_x \times l_y$ . В простейшем случае на периоде решетки прорезана прямоугольная щель с размерами  $a_1 \times b_1$ .

На рис. 1 представлены частотные зависимости обратных потерь  $L_r$  одномерной периодической классической решетки и решетки из перфорированных лент с одной прямоугольной апертурой на элементарном периоде при падении на них  $TE_{00}$ -волны. Размеры решетки  $l_x \times l_y = 23.0 \times 10.0$  мм, толщина экрана  $t = 0.5$  мм. Размеры щели  $a_1 \times b_1 = 13.5 \times 1.0$  мм, расстояние между лентами  $b_2 = 7.0$  мм. Из рисунка видно, что периодическая перфорация ленты решетки коренным образом изменяет вид частотной характеристики. Частотная зависимость перестает быть гладкой, на ней появляется резонансный минимум прохождения падающей волны.

Было проведено детальное исследование зависимости резонансной частоты и добротности резонанса отражения от геометрических размеров решетки. Здесь и далее под добротностью резонанса будем понимать отношение резонансной частоты к ширине полосы частот по уровню половинной мощности. Такое определение совпадает с аналогичным для добротности резонансов полного прохождения, но эта величина не является прямой мерой накопленной в резонаторе энергии. Механизм формирования резонанса отражения более сложный, и для интерпретации полученных зависимостей здесь, вообще говоря, следует привлекать теорию собственных колебаний [11]. Сама же обобщенная информация о результатах этих исследований представлена на рис. 3. На рисунке в координатах “длина щели  $a_1$  – период решетки  $l_y$ ”



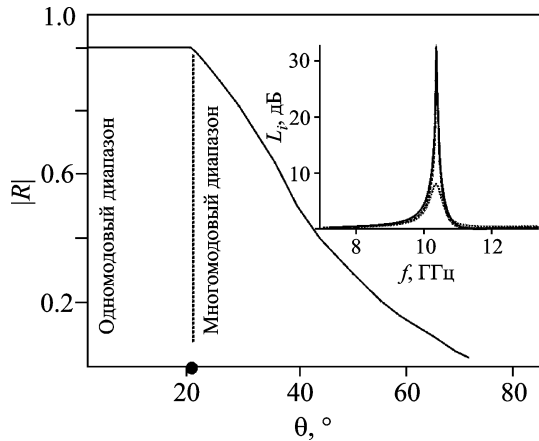
**Рис. 3.** Зависимости добротности и частоты резонанса отражения, формируемого решеткой из перфорированных лент, от ее основных геометрических параметров. Вставка на рисунке – частотная характеристика вносимых потерь  $L_i$  такой решетки

при фиксированных остальных параметрах ( $l_y/b_2 = 1.43$  и  $b_1 = 1$  мм,  $l_x = 23$  мм,  $t = 0.3$  мм) изображены линии равного уровня добротности резонанса и резонансной частоты. Из рисунка видно, что эти линии образуют правильную решетку. Эти данные означают следующее. Частота резонанса отражения определяется главным образом длиной (широким размером) щели  $a_1$ : при увеличении длины щели резонанс отражения смещается в область низких частот, тогда как его добротность практически не изменяется. Добротность резонанса определяется главным образом расстоянием между лентами решетки  $b_2$ . Чем выше коэффициент заполнения (плотность размещения лент) решетки, тем ниже добротность резонанса. При изменении добротности частота резонанса остается неизменной практически во всем одномодовом диапазоне. Исключение составляет случай, когда расстояние между лентами мало, при этом наблюдается смещение резонансной частоты. Эти результаты аналогичны полученным для частотно-селективных поверхностей с двумя апертурами неодинаковых размеров на элементарном

периоде [12]. Такая аналогия становится понятной, если решетку из перфорированных лент рассматривать как предельный случай двухапертурной поверхности с той разницей, что одна апертура имеет предельную – равную соответствующему периоду – длину. Но именно это отличие и позволяет управлять добротностью резонанса простым способом – изменением расстояния между лентами. Частотная характеристика решетки из лент с узкими прямоугольными апертурами имеет практически такой же вид, как и характеристика двухапертурного экрана: резонанс отражения расположен между двумя резонансами прохождения (являющимися, как это было впервые показано в [13], характерной особенностью двухапертурных экранов). С точки зрения практических приложений более привлекательной является решетка из широко разнесенных перфорированных лент. Типичная частотная характеристика вносимых потерь  $L_i = -20 \lg |S_{11}^{21}|$  (где  $|S_{11}^{21}|$  – модуль коэффициента прохождения падающей волны) такой решетки представлена на вставке на рис. 3. Видно, что резонанс отражения имеет высокую симметрию, а уровень вносимых потерь вне окрестности резонанса отражения очень мал.

Численные исследования селективных свойств рассматриваемой решетки показали, что резонанс полного отражения сохраняется в ограниченном секторе углов падения. Этот сектор соответствует одномодовому диапазону решетки. Как только высшая гармоника Флоке начинает распространяться, отражение волны перестает быть полным и резонанс исчезает. Это иллюстрируется рис. 4, где представлены результаты для изменения угла падения  $\theta$  волны в плоскости  $xOz$  на резонансной частоте, которая остается неизменной в процессе сканирования.

Чтобы выявить физические причины возникновения резонанса отражения, недостаточно решить прямую задачу дифракции. Однозначную связь между спектральными и частотными характеристиками позволяет установить спектральная теория открытых волноводных резонаторов [11]. В рамках этой теории ка-



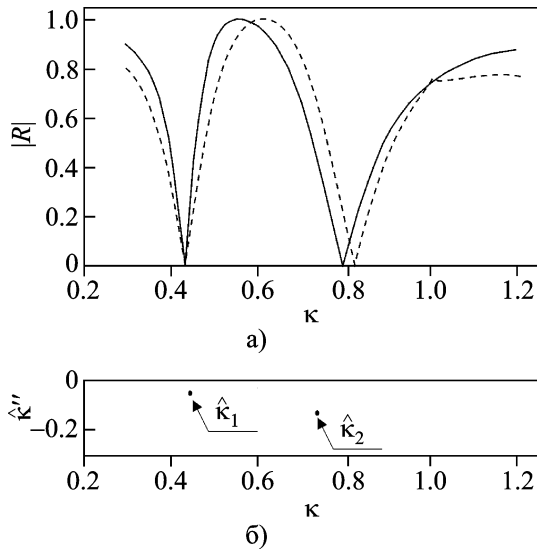
**Рис. 4.** Зависимость коэффициента отражения  $R$  волны, падающей на решетку из перфорированных брусьев, от угла падения  $\theta$  в плоскости  $xOz$  на частоте резонанса отражения (угол отсчитывается от нормали к решетке)

чественные особенности частотной характеристики, формируемой резонансным объектом, удастся связать с возбуждением в нем колебаний, близких к собственным. Соответствующие аналитические выражения для частотных зависимостей элементов матрицы рассеяния открытой структуры волноводного типа в области комплексных частот получены в [14]. Такой подход уже был успешно применен к интерпретации резонансных явлений в волноводном аналоге исследуемой решетки. Речь идет о режекторной волноводной ячейке – тонкой горизонтальной ленте со щелью, размещенной в поперечном сечении прямоугольного волновода [15]. Было установлено, что явление полного отражения в волноводной ячейке связано с возбуждением в ней пары собственных колебаний с комплексной частотой. Так как волноводное моделирование является одним из общепринятых методов исследования решеток [10], естественно ожидать аналогичных результатов и для перфорированной дифракционной решетки. В подтверждение этого была решена соответствующая спектральная задача.

Спектральная задача состоит в аналитическом продолжении решений задачи дифракции относительно безразмерного частотного

параметра  $k$  в область комплексных частот  $\hat{k} = \hat{k}' + i\hat{k}''$  ( $\hat{k}'' \leq 0$ , временная зависимость задается в виде  $\exp(-i\omega t)$ ). В качестве параметра  $k$  в задаче дифракции выбрана приведенная частота  $k = l_x/\lambda$ , где  $l_x$  – период решетки, а  $\lambda$  – длина волны в свободном пространстве. Те комплексные значения безразмерного спектрального параметра  $\hat{k}$ , при которых существуют нетривиальные решения соответствующей однородной краевой задачи, составляют ее спектральное множество.

Областью определения спектрального параметра здесь являлась бесконечнолистная риманова поверхность с точками ветвления второго рода, соответствующими критическим частотам собственных волн волновода Флоке. Оказалось, что такие решения существуют и собственные колебания комплексной частоты, вносящие основной вклад в формирование частотной характеристики, расположены на первом, “физическом”, листе римановой поверхности. Этими решениями является пара собственных колебаний, одно из которых – антисимметричное и более добротное, а другое – симметричное и менее добротное. Добротность собственного колебания или “собственная добротность” задана здесь как  $\hat{Q} = -\hat{k}''/2\hat{k}'$ . Симметрия колебаний определяется исходя из картины поля, формируемого в волноводных каналах решетки относительно горизонтальной оси  $Ox$ . Поля в каналах являются противофазными на частоте первого колебания и синфазными на частоте второго колебания. На рис. 5, а приведена частотная характеристика перфорированной решетки, полученная путем решения исходной неоднородной краевой задачи (пунктирная кривая). Размеры периодической ячейки решетки  $l_x \times l_y = 18.1 \times 14.3$  мм, толщина экрана  $t = 0.3$  мм,  $a_1 \times b_1 = 11.03 \times 1.1$  мм,  $b_2 = 1.1$  мм. Там же сплошной линией нанесена частотная характеристика, восстановленная по паре комплекснозначных собственных частот, значения которых  $\hat{k}_1 = 0.446 - i0.0508$  и  $\hat{k}_2 = 0.739 - i0.1305$ . Их положение на комплексной плоскости приведено на рис. 5, б. Как видно из рис. 5, а, аппроксимационная кривая вполне удовлетворительно описывает качественные особенности частотной характе-



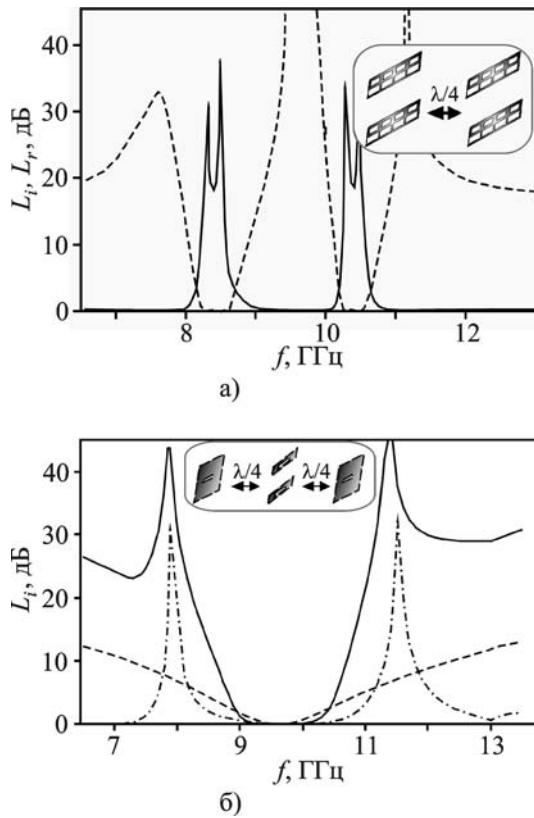
**Рис. 5.** Решения задачи дифракции и спектральной задачи для решетки из перфорированных лент: а) – частотная зависимость коэффициента отражения волны, падающей на решетку (пунктирная кривая – решение задачи дифракции, сплошная кривая – ее аппроксимация с учетом двух комплексных собственных колебаний); б) – положение комплексных частот собственных колебаний на комплексной плоскости

ристики как в резонансных областях, так и в нерезонансной зоне. Таким образом, можно сделать вывод о том, что природа формирования резонанса полного отражения решетками из перфорированных лент та же, что и у волноводных режекторных ячеек, – она связана с возбуждением пары собственных колебаний с комплексной частотой.

Обратимся теперь к практическому применению полученных физических результатов. С этой целью рассмотрим дифракционную решетку, которая может формировать частотную характеристику с несколькими резонансами полного отражения. Элементарная ячейка такой решетки отличается от приведенной на рис. 2 и включает в себя две щели неодинаковых размеров (не имеет значения, прорезаны ли эти две щели в одной и той же ленте или каждая на отдельной ленте). Зависимость положения резонансов от геометрических параметров практически та же, что и для

решетки с одной щелью на элементарном периоде. При этом положение низкочастотного резонанса отражения определяется длиной большей щели, а положение высокочастотного резонанса – длиной меньшей щели. Вообще говоря, решетки, обеспечивающие одновременное запираение на нескольких частотах, известны. Это решетки, состоящие из наборов металлических вибраторов неодинаковой длины на диэлектрической подложке, резонирующих на нескольких частотах. В работе [8] они были использованы для подавления падающей волны в широкой полосе частот. В этой же работе приведены результаты проектирования частотно-селективных устройств, для которых принципиальным является подавление сигналов на значительно разнесенных частотах. Так, на рис. 6, а представлена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) двухслойной частотно-селективной поверхности, образованной парой решеток с двумя неодинаковыми апертурами на периоде. Толщина обеих решеток  $t = 0.3$  мм, размеры ячейки Флоке  $l_x \times l_y = 23.0 \times 16.0$  мм, расстояние между лентами решетки 10.0 мм,  $a_1 \times b_1 = 13.0 \times 1.0$  мм,  $a_2 \times b_2 = 16.0 \times 1.0$  мм. Каждая решетка обеспечивает подавление сигналов на двух значительно разнесенных частотах. Будучи расположенными на расстоянии, приблизительно равном четверти длины волны, на полусредней между двумя резонансами отражения частоте решетки совместно формируют АЧХ с двумя полосами запираения.

На рис. 6, б представлена характеристика вносимых потерь  $L_i$  трехслойной частотно-селективной поверхности, образованной ленточной решеткой с двумя неодинаковыми апертурами  $a_2 \times b_2$  и  $a_3 \times b_3$  на периоде  $l_x \times l_y$  и двумя классическими перфорированными экранами с одной прямоугольной апертурой  $a_1 \times b_1$ . Толщина всех трех экранов  $t = 0.3$  мм, размеры ячейки Флоке  $l_x \times l_y = 23.0 \times 16.0$  мм, расстояние между решетками 7.5 мм,  $a_1 \times b_1 = 12.5 \times 1.0$  мм, расстояние между лентами решетки 10 мм,  $a_2 \times b_2 = 16.0 \times 1.0$  мм и  $a_3 \times b_3 = 15.75 \times 1.0$  мм. Решетка обеспечивает подавление сигналов на двух значительно разнесенных частотах (штрих-пунктирная кривая), а каждый из экранов – прохождение



**Рис. 6.** Частотные характеристики потерь многослойных частотно-селективных поверхностей: а) – двухполосного запирающего фильтра (сплошная кривая – вносимые потери  $L_i$ , пунктирная кривая – обратные потери  $L_r$ ); б) – фильтра с повышенной частотной избирательностью (сплошная кривая – вносимые фильтром потери  $L_i$ , штрихпунктирная и пунктирная кривые – потери, вносимые отдельными секциями фильтра, а именно решеткой из перфорированных лент и классическим частотно-селективным экраном, соответственно)

сигнала на частоте, расположенной между частотами двух резонансов отражения (пунктирная кривая). При размещении решетки и экранов на расстоянии, приблизительно равном четверти длины волны, на частоте резонанса прохождения перфорированного экрана такая структура формирует квазиэллиптическую характеристику (сплошная кривая на рис. 6, б). Таким образом, метод улучшения селективных свойств, используемый обычно в волноводной технике [16], успешно применен и при расчетах частотно-селективных поверхностей.

### 3. Заключение

Предложенная в работе решетка из перфорированных лент является простым частотно-селективным узлом, обеспечивающим эффективное отражение падающей волны в узкой окрестности заданной частоты. Два основных количественных параметра резонанса полного отражения – частота и добротность, контролируются двумя геометрическими параметрами решетки – длиной щели и расстоянием между лентами решетки соответственно, что подтверждается численными расчетами.

Физические закономерности, установленные при анализе комплекснозначного спектра собственных частот решетки, указывают на ту же природу резонанса отражения, что и в режекторных волноводных диафрагмах. Резонанс полного отражения является откликом структуры на возбуждение в ней пары собственных колебаний с комплексной частотой.

Численные результаты и физические закономерности, установленные при анализе дифракции электромагнитных волн на дифракционной решетке из перфорированных лент, успешно применены в расчетах частотно-селективных устройств со сложными избирательными характеристиками.

### Литература

1. Шестопапов В. П. Метод задачи Римана–Гильберта в теории дифракции и распространения электромагнитных волн. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1971. – 400 с.
2. Шестопапов В. П., Литвиненко Л. Н., Масалов С. А., Сологуб В. Г. Дифракция волн на решетках. – Харьков: Изд-во Харьковского университета, 1973. – 278 с.
3. Литвиненко Л. Н., Просвирнин С. Л. Спектральные операторы рассеяния в задачах дифракции волн на плоских экранах. – Киев: Наук. думка, 1984. – 239 с.
4. Шестопапов В. П., Кириленко А. А., Масалов С. А., Сиренко Ю. К. Резонансное рассеяние волн. Т. 1. Дифракционные решетки. – Киев: Наук. думка, 1986. – 232 с.
5. Porto J. A., Garcia-Vidal F. J., and Pendry J. B. Transmission Resonances on Metallic Gratings with Very

- Narrow Slits // *Phys. Rev. Lett.* – 1999. – Vol. 83, Is. 14. – P. 2845-2848.
6. Munk B. A. *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design.* – New York (USA): Wiley Interscience Publ. – 2000. – 410 p.
  7. Araújo L. M., Maniçoba R. H. C., Campos A. L. P. S., and d'Assunção A. G. A simple dual-band frequency selective surface // *Microw. Opt. Tech. Lett.* – 2009. – Vol. 51, Is. 4. – P. 942-944.
  8. Sarkar D., Sarkar P. P., Das S., and Chowdhury S. K. An array of stagger-tuned printed dipoles as a broadband frequency selective surface // *Microw. Opt. Tech. Lett.* – 2002. – Vol. 35, Is. 2. – P. 138-139.
  9. Кириленко А. А., Мосьпан Л. П. Двухщелевые резонансные диафрагмы в прямоугольном волноводе // *Радиофизика и электроника.* – Харьков: Ин-т радиофизики и электроники НАН Украины. – 1997. – Т. 2, №2. – 1997. – С. 26-31.
  10. Амитей Н., Галиндо В., Ву Ч. Теория и анализ фазированных антенных решеток. – М.: Мир, 1974. – 455 с.
  11. Шестопапов В. П., Сиренко Ю. К. Динамическая теория решеток. – Киев: Наук. Думка, 1989. – 216 с.
  12. Mospan L. P. and Kirilenko A. A. Spatial filter with quasi-elliptical response // *Proc. 35th Eur. Microwave Conf. Vol. 2.* – Paris (France). – 2005. – P. 869-872.
  13. Reed J. A. and Byrne D. M. Frequency-selective surfaces with multiple apertures within a periodic cell // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 1998. – Vol. 15, No. 2. – P. 660-668.
  14. Кириленко А. А., Сенкевич С. Л., Сиренко Ю. К., Тысык Б. Г. О восстановлении матриц рассеяния волноводных и периодических структур по спектру комплексных собственных частот // *Радиотехника и электроника.* – 1989. – Т. 33, №3. – С. 468-473.
  15. Kirilenko A. A. and Mospan L. P. A slotted strip as a key element of the simplest notch and band-stop filters // *Microw. Opt. Tech. Lett.* – 2005. – Vol. 46, Is. 1. – P. 20-24.
  16. Kirilenko A., Mospan L., and Tkachenko V. Extracted-pole bandpass filters based on the slotted irises // *Proc. 32nd Eur. Microwave Conf. Vol. 3.* – Milan (Italy). – 2002. – P. 969-972.

## Відбиваюча решітка з перфорованих стрічок як частотно-селективна поверхня

**А. О. Кириленко, Л. П. Мосьпан**

Досліджено розсіювання плоскої монохроматичної хвилі решіткою з металевих стрічок, періодично перфорованої прямокутними отворами. Показано, що така решітка забезпечує резонансне відбиття падаючої хвилі. Розглянуто вплив геометричних параметрів решітки на частоту та добротність резонанса відбиття. Для фізичної інтерпретації ефекта повного відбиття розв'язано задачу про спектр власних коливань у комплексній площині частотного параметра. Наведено результати числового моделювання багатопарових фільтрів з покращеною частотною вибірністю.

## Reflective Grating of Perforated Strips as a Frequency-Selective Surface

**A. A. Kyrylenko and L. P. Mospan**

Scattering of a plane monochromatic wave by a grating of metal strips periodically perforated by rectangular apertures has been studied. It is shown that such a grating provides a resonant reflection of an incident wave. An influence of geometrical dimensions of the grating upon the frequency and the Q-factor of the reflection resonance has been considered. Spectral problem on searching the natural oscillation spectrum in the complex frequency range has been solved for a physical explanation of the reflection resonance. Numerical data for multi-layered filters with improved selectivity are presented.