

УДК 537.87

**РЕШЕТКА СДВОЕННЫХ ПОПЕРЕЧНЫХ ЩЕЛЕЙ В ВОЛНОВОДЕ С
ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ В ВИДЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ****Н. К. Блинова***Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, 61077, г. Харьков, пл. Свободы, 4
e-mail: Natalya.K.Blinova@univer.kharkov.ua*

Поступила в редакцию 5 марта 2010 г.

Исследованы энергетические характеристики и характеристики направленности антенной решетки с одиночными и сдвоенными поперечными щелями, прорезанными в широкой стенке прямоугольного волновода, частично заполненного диэлектриком. Диэлектрический слой располагался параллельно широкой стенке волновода, как в случае одиночных поперечных щелей, так и в случае сдвоенных щелей. Показана возможность создания антенной решетки из сдвоенных поперечных щелей, не имеющей дифракционных максимумов в диаграмме направленности и обладающей высоким коэффициентом излучения в широком частотном диапазоне.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: антенная решетка, горизонтальная поляризация, сдвоенные поперечные щели, замедляющая система.

Досліджені енергетичні характеристики та характеристики спрямованості антенної решітки з поодинокими та подвоєними поперечними щілинами, які прорізані у широкий стінці прямокутного хвилеводу, який частково заповнений діелектриком. Діелектричний шар розташований паралельно широкій стінці хвилеводу як у випадку поодиноких поперечних щілин, так і у випадку подвоєних щілин. Доказано можливість створення антенної решітки з подвоєних щілин, яка не має дифракційних пелюстків у діаграмі спрямованості, та має високий рівень коефіцієнта випромінювання у широкому частотному діапазоні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: антенна решітка, горизонтальна поляризація, подвоєні поперечні щілини, уповільнююча система.

Energetic and directional characteristics of an antenna array (AA) with single transversal slots and double ones cut in a rectangular waveguide, partially filled with dielectric are investigated. In the case of single transversal slots and double transversal slots a dielectric layer is parallel to broad walls of the waveguide. It was shown the possibility to construct an AA with double transversal slots having the pattern without diffraction lobes and high level of radiation power in the wide frequency band.

KEYWORDS: antenna array, horizontal polarization, double slots, slowing system.

Волноводно-щелевые антенны с поперечными щелями в широкой стенке прямоугольного волновода обеспечивают излучение, имеющее горизонтальную поляризацию. В резонансных антеннах поперечные щели должны быть смещены вдоль оси волновода одна относительно другой на расстояние длины волны в волноводе λ_g . В полом волноводе это расстояние больше, чем длина волны λ в свободном пространстве, поэтому в диаграмме направленности появляются интерференционные максимумы высших порядков. Для того чтобы предотвратить их появление необходимо уменьшить расстояние между соседними излучателями. Это возможно сделать за счет использования замедляющей системы в волноводе в виде диэлектрического слоя, расположенного параллельно широкой стенке волновода. Ширина слоя, его диэлектрическая проницаемость, положение в поперечном сечении волновода, а также размеры щели могут быть использованы как свободные параметры, определяющие на указанной частоте фазовое распределение полей, возбуждающих щели, и уровни энергии, излучаемые и отражаемые ими. Такие возможности отсутствуют в случае полого волновода.

Для увеличения частотного диапазона и обеспечения возможности частотного сканирования луча линейной волноводно-щелевой решетки в более широком секторе углов, щели располагают подгруппами. Такие излучатели называют групповыми или сдвоенными щелевыми излучателями. В работе [1] такой групповой излучатель представлен в виде пары наклонных щелей, прорезанных в узкой стенке волновода. Работы [2], [3] посвящены теоретическим и экспериментальным исследованиям свойств сдвоенных продольных щелей в широкой стенке прямоугольного волновода и систем таких излучателей. В них показано, что расширение полосы частот сдвоенных щелей возможно только в случае, когда продольные щели расположены достаточно близко к узкой стенке волновода. Поперечные сдвоенные щели в полом волноводе рассмотрены в работе [4]. Они представляют интерес с точки зрения

исследования возможности реализации на их основе антенн с более широкой полосой пропускания, чем антенн с одиночными щелями.

Целью статьи является исследование энергетических характеристик и характеристик направленности решетки поперечных сдвоенных щелей, прорезанных в прямоугольном волноводе, частично заполненном диэлектриком.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ВЫБОР МЕТОДА РЕШЕНИЯ

Предположим, что волноводно-щелевая антенная решетка (ВЩАР) на базе сдвоенных поперечных щелей в волноводе с частичным диэлектрическим заполнением возбуждается от генератора волной единичной амплитуды. В конце волновода подключена согласованная нагрузка. ВЩАР имеет коэффициент замедления в системе $\xi > 1$, где $\xi = \frac{\lambda}{\lambda_g}$. Необходимо определить амплитудно-фазовое

распределение (АФР) поля в решетке, диаграммы направленности, коэффициенты матрицы рассеяния в секторе сканирования. Задача состоит в том, чтобы получить максимальный сектор сканирования, максимальный коэффициент излучения, минимальный коэффициент отражения при изменении частоты.

АФР в многощелевой антенне может быть найдено из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) методом магнитодвижущих сил (МДС) [5] или модифицированным методом последовательных приближений (ММП), который был предложен в работе [6]. Модификация метода заключалась в комбинировании метода МДС и известного метода последовательных приближений МПП [7]. В работе [6] был проведен учет конечной толщины стенок волновода и произвольных нагрузок (комплексных – с известным коэффициентом отражения) на конце волновода. В ММП система уравнений метода наведенных МДС записывается только для одной щели, т.е. решается всего два уравнения в каждом приближении для каждой щели. Кроме того, при использовании ММП собственные проводимости щелей не зависят от оконечной нагрузки. Они рассчитываются по формулам из [8]. При использовании ММП нет необходимости рассчитывать внутренние взаимные проводимости щелей, т.к. их взаимодействие учтено в самом алгоритме ММП. В настоящей статье для расчета амплитудно-фазового распределения в линейной системе щелевых излучателей использовался ММП.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Если задан рабочий диапазон длин волн, то для выбора длины щели L и толщины слоя диэлектрика t , сначала необходимо определить условия, при которых, во-первых, щель является резонансной в одномодовом режиме возбуждения волновода, и во-вторых, длина волны в волноводе на резонансной частоте щели меньше длины волны в свободном пространстве. Для того, чтобы определить одномодовый режим, в работе [9] были найдены частоты отсечки для высших мод. Решено дисперсионное уравнение [10] для основной LM -моды при различных значениях ширины слоя диэлектрика t , и его диэлектрической проницаемости ε . Определены крайние частоты, для которых выполнялось условие $\lambda_g = \lambda$. Для различных длин щелей были вычислены энергетические характеристики – коэффициенты

отражения $|\dot{\Gamma}_1|^2$, коэффициенты прохождения $|\dot{\Gamma}_{12}|^2$ и коэффициенты излучения $|S_{\Sigma}|^2$. Воспользуемся результатами работы [9]. Так, например, если резонансное излучение требуется в полосе $30 \leq \lambda \leq 35$ мм, можно использовать щели длиной $13 \leq L \leq 17$ мм и слой диэлектрика с $\varepsilon = 7$ толщиной $t = 3$ мм. В работе [11] показано, что наиболее важным для практики является случай, когда диэлектрический слой расположен вблизи стенки, противоположенной той, в которой прорезана щель. В этом случае резонансная длина волны щели плавно меняется в зависимости от t и ε , в отличие от случая, когда слой диэлектрика расположен непосредственно у стенки, в которой прорезана щель.

Расчет энергетических характеристик и характеристик направленности был проведен для решетки сдвоенных поперечных щелей, показанной на рис.1, и решетки из одиночных поперечных щелей. В этих решетках слой диэлектрика был расположен вблизи стенки волновода противоположной той, в которой прорезана щель. Предполагалось, что $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 1$, $\varepsilon_3 = 7$. Волновод имел поперечное сечение $a \times b = 23 \times 10$ мм. Вычисления АФР были проведены для решеток, состоящих из $N=20$ одиночных щелей и, соответственно, для $N=20$ сдвоенных щелей. Длины щелей, как одиночных L_1 , так и сдвоенных $L_1; L_2$ были выбраны таким образом, чтобы обеспечить максимальный коэффициент излучения и минимальный коэффициент отражения решетки в наиболее широкой полосе частот. Оказалось, что оптимальными при этих условиях являются длины щелей в решетке из одиночных щелевых излучателей $L_1 = 14,7$ мм, длины щелей в каждой группе из сдвоенных излучателей в решетке соответственно -

$L_1 = 14,7 \text{ мм}; L_2 = 14 \text{ мм}$, ширина щелей равна $1,5 \text{ мм}$. Сдвоенные щели были расположены на расстоянии $d = 3 \text{ мм}$ и располагались симметрично относительно середины широкой стенки волновода.

Известно, что в резонансных щелевых антеннах расстояние между соседними щелями $D = \lambda_g$ на резонансной длине волны. В решетках с одиночными щелями и в решетках из сдвоенных щелевых излучателей расстояние между соседними щелями D или между группами сдвоенных щелей D выбирается из условия существования только одного максимума излучения в диаграмме направленности (ДН), при сканировании. При этом величина коэффициента замедления должна быть такой, которая бы обеспечивала уровень излучения вдоль оси $+Z$ ($\vartheta^0 = +90^0$), не превышающий уровень первого бокового лепестка ДН. Расстояние между излучателями было выбрано $D = 17,7 \text{ мм}$. Было учтено, что в сканирующей антенне с увеличением частоты коэффициент замедления растёт, следовательно, длина волны в волноводе уменьшается.

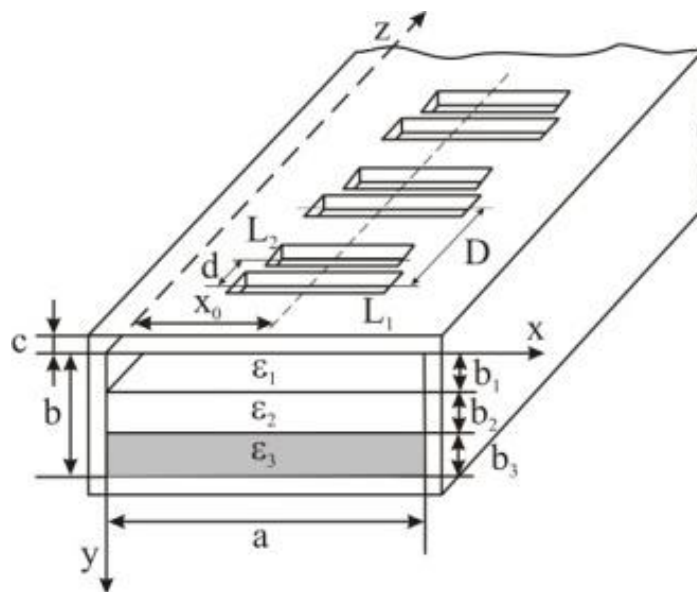


Рис. 1. Антенная решетка сдвоенных поперечных щелей в волноводе с диэлектрическим слоем

Зависимости коэффициентов излучения и КСВН от длины волны для систем сдвоенных щелей и систем с одиночными поперечными щелями представлены на рис.2 и 3 соответственно кривыми 1-2. Видно, что используя сдвоенные щелевые излучатели в решетке с замедляющей системой в виде диэлектрического слоя в волноводе можно получить более широкую полосу пропускания при более высоком коэффициенте излучения, чем при использовании одиночных щелевых излучателей в решетке. Например, в полосе длин волн $\lambda = 30,5 - 35 \text{ мм}$ для системы из одиночных щелей $ISI^2 = 0,8$ при $КСВН < 1,15$. Применяя в антенной решетке сдвоенные щелевые излучатели и подбирая длину щелей, можно получить коэффициент излучения $ISI^2 > 0,8$ в более широкой полосе длин волн $\lambda = 29,8 - 37 \text{ мм}$.

Для решеток из одиночных и сдвоенных щелевых излучателей были рассчитаны ДН в диапазоне длин волн, которые представлены на рис.4. Оказалось, что частотный диапазон и угловой сектор сканирования для системы сдвоенных щелей больше, чем для системы из одиночных щелей. Так, например, для системы одиночных щелей угловой сектор сканирования составлял от -50 до -18 градусов, для системы сдвоенных щелей сектор сканирования находился в пределах от -48 до -5 градусов.

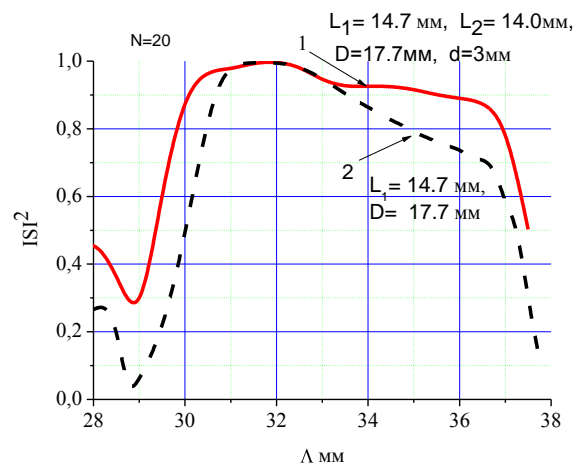


Рис. 2. Зависимость коэффициента излучения от длины волны волноводно-щелевой решетки N=20

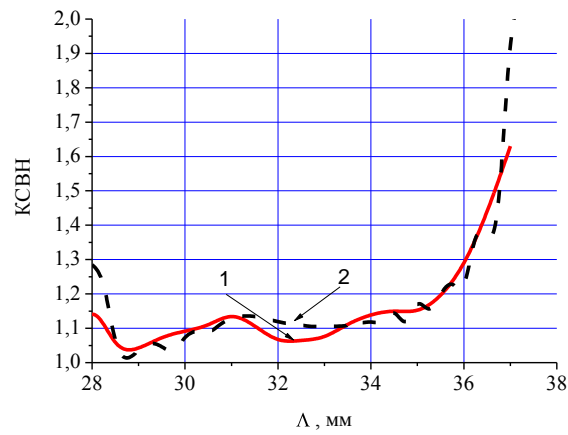


Рис. 3. Зависимость КСВН от длины волны в волноводно-щелевой решетки N=20

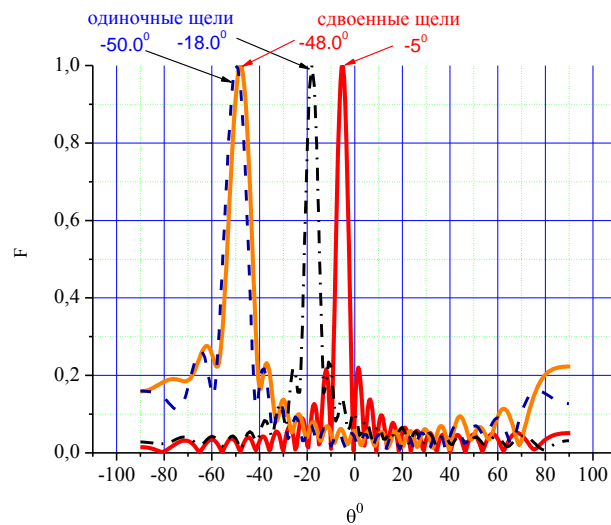


Рис. 4. Диаграммы направленности волноводно-щелевых решеток, вычисленные для систем с одиночными и со сдвоенными щелями в полосе частот

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований показано, что используя в ВЩР из поперечных щелей замедляющую систему в виде диэлектрического слоя можно получить диаграмму направленности, не имеющую дифракционных лепестков. За счет использования в ВЩР с замедляющей системой сдвоенных поперечных щелей можно получить более широкую полосу пропускания и более высокий коэффициент излучения, по сравнению с ВЩР, состоявшей из одиночных щелей. При этом частотный диапазон и угловой сектор сканирования для системы сдвоенных щелей больше, чем для системы из одиночных щелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наймушин М.П., Соболев Б.С. Сдвоенные наклонно-смещенные щели // Труды вузов Российской Федерации. Антенны и СВЧ узлы радиотехнических устройств. -Свердловск: изд.УПИ. –1976. – С.30-33.
2. Яцук Л.П., Блинова Н.К. Диапазонные свойства продольной сдвоенной щели в широкой стенке прямоугольного волновода //Радиотехника (Москва), – 2001, № 6, – С.24-28.
3. Блинова Н.К., Яцук Л.П., Жиронкина А.В., Кийко В.И., Бандура Н.А. Продольная сдвоенная щель в широкой стенке прямоугольного волновода //Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. № 513. Серія "Радіофізика та електроніка". – Випуск 1'2001, -С.130-134.
4. Лященко В.А. Излучение из системы близкорасположенных щелей ХГУ.-Харьков, -Рус.-Деп. В Укр.ИНТИ,- 1985. №853.-28с.
5. Фельд Я.Н., Бененсон Л.С. Антенно-фидерные устройства. – М.: Изд-во ВВИА им. Жуковского, 1959. – Ч.2. – 551с.
6. Яцук Л.П., Блинова Н.К., Жиронкина А.В. Математическая модель линейной системы щелей в волноводе с произвольной отражающей нагрузкой // Радиотехника (Москва), – 1992. № 7-8. - С. 73-78.
7. Яцук Л.П., Катрич В.О., Жиронкина А.В. Розрахунок одномірної хвильоводно-щілинної антенної ґратки кругової та еліптичної поляризації з урахуванням взаємного впливу випромінювачів // Вісник Харківського державного університету ім. О.М. Горького. Радіофізика.-1973.- вип.2.-С.32-36.
8. Яцук Л.П. Поперечные щели в прямоугольном волноводе со слоистым диэлектриком. – Радиотехника. - Харьков: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб., 1997, вып.104, -с.3-12.
9. Н.К.Блинова, Ляховский А.А. , Яцук Л.П. Поперечная щель в волноводе с диэлектрической замедляющей системой // Радиофизика и радиоастрономия, 2008,т.13, №1, с.85-91
10. Егоров Ю.В. Частично заполненные прямоугольные волноводы.- М.: Сов. радио, 1967.-216с.
11. Яцук Л.П., Физические свойства поперечных щелей в прямоугольном волноводе, заполненном слоистым диэлектриком. // Радиотехника.- Харьков:- Всеукр.межвед.науч.-техн.сб., 1997, вып. 104. - С.13-20.