

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СБОЕВ В ПЕРИОДИЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОГРАНИЧЕННЫХ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЕТОК

С. Н. Воробьев, Е. В. Замятин

Отсутствие некоторых элементов дифракционной решетки может быть вызвано конструктивными особенностями СВЧ приборов и антенных устройств. Исследуем поле, рассеянное ограниченной эквидистантной ленточной решеткой, у которой последовательно исключается то или иное число элементов (при неизменной апертуре решетки и длине волны падающего поля). Тогда решение, полученное в [1], обладает важной особенностью, позволяющей оптимизировать алгоритм расчета характеристик рассеянного поля, значительно увеличив его быстродействие по сравнению с алгоритмом для неэквидистантной решетки из конечного числа элементов. В этом случае достаточно один раз вычислить матрицу системы (для всех элементов), а решение для «прореженных» решеток получать с помощью специально организованной процедуры выборки необходимых матричных элементов и компоновки соответствующих «прореженных» матриц, что существенно сокращает время вычислений на ЭВМ.

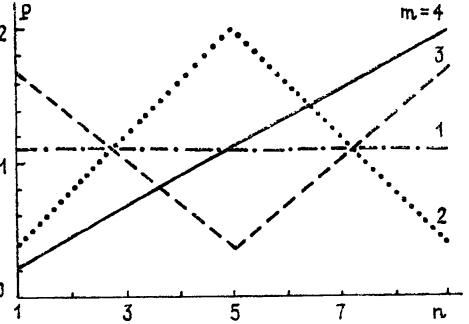


Рис. 1.

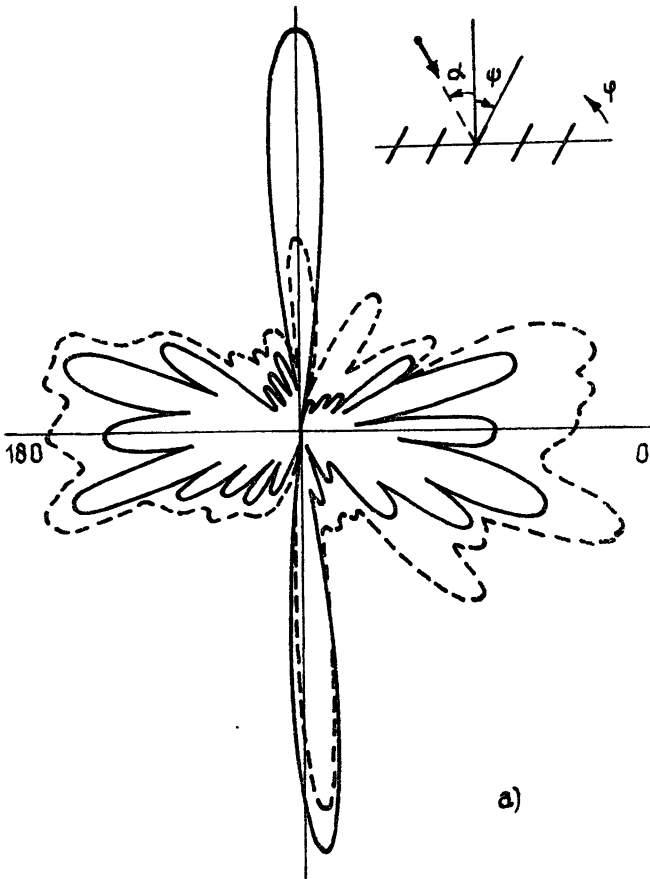


Рис. 2.  $\psi = 10^\circ$ , а) резонансное рассеяние,  $\alpha = 0$ .

Рассмотрим эквидистантную решетку (ЭР) из 11 идеально проводящих лент шириной в четверть периода, расположенных под углом  $\psi$  к нормали к плоскости решетки. Сверху на решетку под углом  $\alpha$  падает плоская  $H$ -поляризованная волна ( $H$ -ком-

понента электромагнитного поля направлена вдоль оси, по которой структура однородна (рис. 2а) Частотный параметр  $\kappa=0,9$  ( $\kappa$  равно отношению периода к длине волны). Для нормального падения ( $\alpha=0$ ) выбранное значение  $\kappa$  находится вблизи точки скольжения гармоники с номером  $\pm 1$  в эквивалентной периодической решетке, а изменение угла падения ( $\alpha=30, 45, 60, 80^\circ$ ) позволяет исследовать влияние исключения элемента (ИЭЛ) на свойства ограниченной решетки в резонансном и нерезонансном случаях. Электромагнитное поле в дальней зоне, создаваемое участком периодической решетки, равным по размеру апертуре ограниченной, можно сравнить в направлении дифракционных максимумов (ДМ) с полем ЭР из конечного числа лент [1]. Относительная разность амплитуд этих полей в данном случае составляет менее 1%. Изменение угла наклона лент ( $\psi=10, 80^\circ$ ) позволяет изучить различия в свойствах плоской и ножевой решеток.

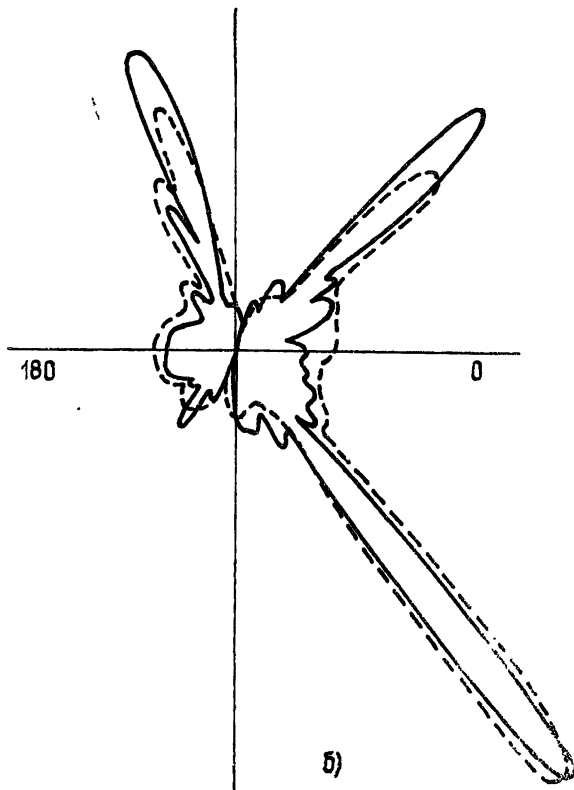


Рис. 2.  $\psi=10^\circ$ ; б) нерезонансное рассеяние,  $\alpha=45^\circ$ .

Амплитуда рассеянного поля (РП) решетки с произвольным образом исключенным элементом (кроме крайних) представляет одну реализацию со случайным расположением ИЭЛ. Погрешность вычислений РП не превышала 0,5%. Затем рассчитывались статистические характеристики — среднее значение амплитуды РП (СП) и дисперсия амплитуды РП (ДП) в случае различных распределений вероятности ИЭЛ в зависимости от положения элемента в решетке. Вид используемых распределений приведен на рис. 1; здесь  $n$  — исключаемые ленты решетки,  $P$  — вероятность исключения. Номером  $m=1$  обозначено равномерное распределение, 2 — треугольное, 3 — с максимумом на краях решетки, 4 — равномерно возрастающее вдоль решетки

На рис. 2а, б изображено СП (штриховая кривая) для  $m=1$  в сравнении с диаграммой направленности эквидистантной решетки (сплошная кривая);  $\psi=10^\circ$ . Анализ результатов показывает, что при  $\alpha=0$  — случай резонансного рассеяния (рис. 2а) — сильно деформируется все РП; амплитуда ДМ прошедшего поля падает на 15—20%, а отраженного — на 50—55%; значительно возрастает излучение вдоль плоскости решетки, в некоторых реализациях оно превосходит излучение в направлении ДМ ЭР. В случае нерезонансного рассеяния при  $\alpha=45^\circ$  (рис. 2б) изменения РП менее выражены; амплитуда ДМ прошедшего поля падает на 5—8%, отраженного — на 18—22%, а излучение вдоль плоскости решетки растет в среднем больше, чем в резонансном случае, но его флуктуации от реализации к реализации невелики. Они достигают только ~10% средней величины ДМ, в то время как для резонансного рассеяния они составляют ~40%.

Изменение величины главного ДМ при ИЭЛ будем характеризовать величиной  $K_a = \bar{A}/A$ , где  $\bar{A}$  — амплитуда ДМ СП, а  $A$  — амплитуда ДМ ЭР. Изучение зависимости  $K_a$  от углов  $\alpha$  и  $\psi$  (табл. 1) позволяет установить следующее. 1) Изменение

величины ДМ существенно зависит от  $\alpha$  (тем сильнее, чем меньше  $\psi$ ), причем зависимость  $K_a(\alpha)$  имеет максимум. Следовательно, можно найти условия возбуждения, при которых решетка наиболее устойчива к ИЭЛ. 2) Для резонансного рассеяния с увеличением  $\psi$  величина  $K_a$  возрастает, т. е. решетка тем устойчивее сохраняет свои характеристики, чем ближе она к плоской. Величина  $K_a$  минимальна при  $m=2$ ,  $\psi=10^\circ$ . 3) Влияние вида распределения ИЭЛ для почти плоских решеток на величину  $K_a$  незначительно.

Таблица 1

Зависимости  $K_a$  от  $\alpha$ ,  $\psi$ 

	$m$	$\alpha$ , град.				
		0	30	45	60	80
$\psi = 10^\circ$	1	0,829	0,930	0,927	0,925	0,872
	2	0,806	0,927	0,926	0,924	0,875
	3	0,852	0,928	0,925	0,921	0,881
	4	0,836	0,928	0,926	0,925	0,877
$\psi = 80^\circ$	1	0,907	0,912	0,911	0,910	0,906
	2	0,908	0,912	0,910	0,909	0,905
	3	0,908	0,913	0,911	0,909	0,904
	4	0,908	0,912	0,911	0,909	0,905

Излучение в районе углов, близких к плоскости решетки, является характерной особенностью ограниченных структур. Введем параметр  $K_p = (\bar{A}_{180} + A_0)/(A_{180} + A_0)$ , где  $\bar{A}_c$  — СП под углом  $\varphi$ , а  $A_\varphi$  соответствует ЭР. Анализ зависимостей  $K_p$  от  $\alpha$  и  $\psi$ , представленных в табл. 2, позволяет выявить следующие закономерности. 1) Величина  $K_p$  имеет максимум ( $K_p \sim 3$ ) в области  $\alpha \sim 30^\circ$ . Причем угол  $\alpha$ , соответствующий максимуму, одинаков для различных  $\psi$ . 2) В нерезонансном случае угол  $\psi$  мало влияет на величину  $K_p$ . 3) Следует отметить падение амплитуды излучения вдоль решетки при больших углах падения, где  $K_p \sim 0,9 \div 0,95$ .

Таблица 2

Зависимости  $K_p$  от  $\alpha$ ,  $\psi$ 

	$m$	$\alpha$ , град.				
		0	30	45	60	80
$\psi = 10^\circ$	1	1,682	3,081	2,814	1,275	0,992
	2	1,621	2,976	2,712	1,134	0,981
	3	1,592	2,867	2,686	1,121	0,974
	4	1,655	2,972	2,751	1,153	0,972
$\psi = 80^\circ$	1	1,091	3,124	2,910	1,282	1,025
	2	1,182	3,085	2,693	1,099	0,930
	3	1,494	3,168	2,868	1,166	0,947
	4	1,215	3,117	2,842	1,082	0,913

ИЭЛ приводит к сдвигу главного максимума СП относительно его направления при рассеянии на ЭР. Флуктуации главного ДМ обнаружены для решетки с  $\psi=10^\circ$ . Величина сдвига лежит в пределах от  $1^\circ$  до  $3^\circ$ , максимальное значение соответствует углам падения  $\alpha \sim 0$  и  $\alpha \sim 45^\circ$  и составляет до 25% ширины лепестка. Значит, не более 0,3  $K_a$  может вызываться сдвигом направления ДМ, а остальное падение амплитуды излучения является результатом уменьшения амплитуды ДМ вследствие ИЭЛ. Наибольшая величина флуктуаций наблюдается для распределений  $m=1$  и  $m=3$ . Для решеток с  $\psi=80^\circ$  сдвиг главного ДМ составляет менее  $1^\circ$ .

На рис. 3 приведены зависимости ДП (штриховая кривая) для случая  $\psi=10^\circ$ ,  $\alpha \sim 0^\circ$ ,  $m=1$ . Максимумы дисперсии совпадают с провалами РП (сплошная кривая), а это означает, что сильнее всего флукуирует фон, тогда как максимумам РП соот-

ветствуют минимумы ДП. В области углов  $\varphi \sim 0$  и  $\varphi \sim 180^\circ$  дисперсия возрастает. Качественный характер зависимостей ДП сохраняется и при  $\psi = 80^\circ$ , но вариации ДП становятся значительно меньше.

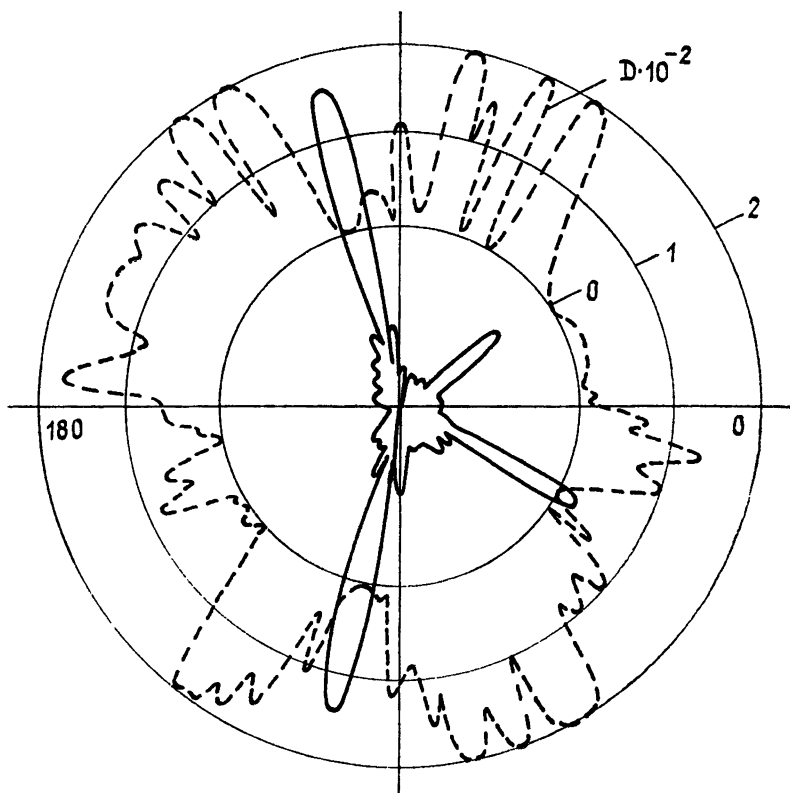
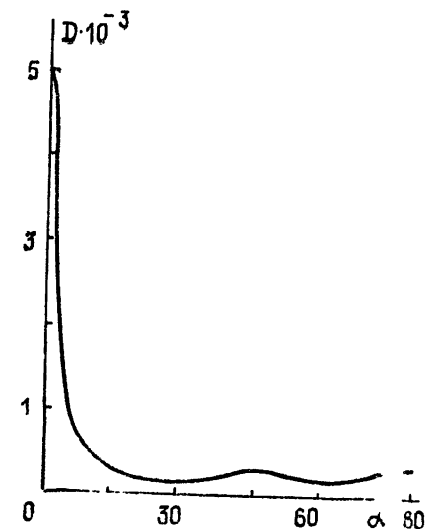


Рис. 3.  $\psi = 10^\circ$ ;  $\alpha = 60^\circ$ ,  $m = 1$ .

На рис. 4 приведена кривая дисперсии  $D(\alpha)$  величины главного ДМ для решетки с  $\psi = 10^\circ$  при равномерном распределении ИЭЛ.



В результате исследования  $D(\alpha)$  было выяснено 1) в резонансном случае дисперсия имеет величину порядка  $5 \cdot 10^{-3}$ , а флуктуации амплитуд главного ДМ в реализациях составляют 5—10% от величины максимума СП. В нерезонансном случае величина дисперсии меньше на порядок  $(1,5-3) \cdot 10^{-4}$ , а указанные выше флуктуации находятся в пределах 1%; 2) для  $\alpha \geq 30^\circ$  зависимость величины дисперсии от  $\alpha$  слаба; 3)  $D(\alpha)$  уменьшается с увеличением угла наклона лент, а, значит, плоские решетки не только устойчивее к ИЭЛ, но и более точно описываются средними величинами. Разница в величине дисперсии ДМ может достигать двух-трех порядков.

Рис. 4.  $\psi = 10^\circ$ ; равномерное распределение ИЭЛ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев С. Н., Литвиненко Л. Н., Просвирнин С. Л. — ДАН УССР, 1984, сер. А, № 8, с. 67.

Институт радиофизики и электроники  
АН УССР

Поступила в редакцию  
12 февраля 1986 г.