СТРУКТУРА ДИФРАГИРОВАННОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ДВОЙНОЙ РЕШЕТКИ

В. Б. Казанский, Н. Г. Савенко

Харьков

В работе [1] показано, что для анализа поля в ближней зоне эффективно представление поля в виде амплитудных и фазовых распределений. В связи с интерференционными явлениями интерес представляет подобный анализ поля, дифрагированного на двойной решетке. Как показывают вычисления коэффициента прохождения, такая решетка может быть прозрачной даже при весьма малой ширине щелей. Эта прозрачность обусловлена тем, что при некоторых значениях параметров $u = \cos\frac{\pi d}{l}$, $\frac{a}{l}$ и $\varkappa = \frac{l}{\lambda}$ (λ — длина падающей плоской электромагнитной волны; остальные параметры показаны на рис. 1) волна возбуждает в ней режим, близкий к собственному.

Для нахождения комплексных значений параметра, соответствующих собственному режиму такой открытой структуры, необходимо решить уравнение

$$D(\varkappa) = 0,$$

где D — определитель однородной системы линейных алгебраических уравнений, которая получена при решении однородных уравнений Максвелла с соответствующими граничными условиями. При вещественном и не равном нулю $\varkappa$ такая однородная алгебраическая система никакого решения, кроме тривиального, не имеет. Однако определитель системы может иметь комплексные корни $\varkappa$. Они соответствуют собственным колебаниям при $\operatorname{Im}\varkappa < 0$, принадлежащим к классу затухающих резонансов [2], т. е. собственным колебаниям открытых систем, которые затухают во времени. Нахождение параметров, соответствующих такому режиму, численными методами проводилось в работах [3, 4].

Однако можно найти параметры, соответствующие режиму, близкому к собственному, из условий максимума коэффициента прохождения. При этом условие интерференционного максимума коэффициента прохождения практически совпадает с условием минимума коэффициента отражения. Это совпадение тем полнее, чем у́же щели. Представление о «резонансе» в двойной решетке позволяет интерпретировать уменьшение толщины резонансной кривой дифракционных коэффициентов прохождения и отражения с уменьшением щелей. Естественно, что с уменьшением щелей добротность такого открытого резонатора возрастает, так как убывают дифракционные потери (связь со свободным пространством), а ширина резонансной кривой уменьшается.

Интерес представляет исследование структуры поля в случае резонансного режима. Поле, изображенное на рис. 1—4, соответствует параметрам $\varkappa$ и $\frac{a}{l}$ соответственно; параметры определены по резонансным кривым дифракционных коэффициентов прохождения и отражения. При этом модуль амплитуды поля, прошедшего через двойную решетку, практически равен модулю амплитуды над решеткой. Картина поля близка к симметричной относительно плоскости $z=-\frac{a}{2}$ (рис. 1, 2).

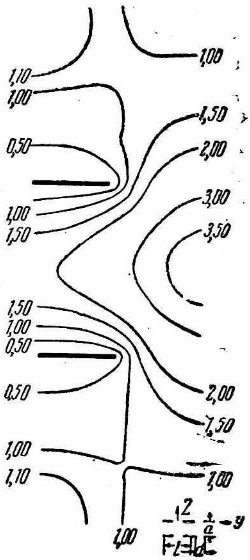

Рис. 1. Линия постоянной амплитуды поля в резонансном случае для E-поляризации $\left(u=0;\ \frac{a}{l}=0{,}5;\ \varkappa=0{,}78\right)$.

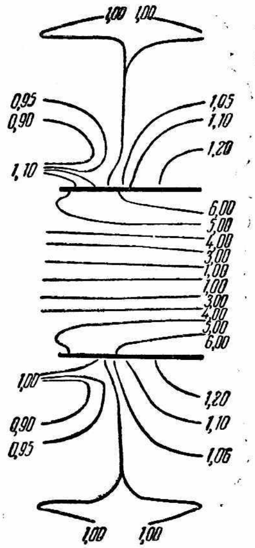

Рис. 2. Линии постоянной амплитуды поля в резонансном случае для H-поляризации $\left(u=-0{,}99;\ \frac{a}{l}=1{,}1084;\ \varkappa=0{,}5\right)$.

Значения полей при этом внутри решетки достигают максимума, который тем больше, чем меньше коэффициент заполнения. С уменьшением щелей он сдвигается в сторону резонансной структуры от плоскости $z=-\frac{a}{2}$. В резонансном случае наблюдается равномерность распределения поля в ближней зоне.

Напомним, что решетка сдвигает фазу прошедшей волны. Однако, если в нерезонансном случае (рис. 3) линия нулевой фазы сместилась вниз от плоскости $z=0$, в резонансном (рис. 4) она находится в плоскости $z=0$.

При построении модулей амплитуды и фазы в зависимости от $\frac{y}{l}$ и $\frac{z}{l}$ точки наносились через $0{,}025l$ по $\frac{y}{l}$ и через $0{,}05\ \frac{a}{l}$

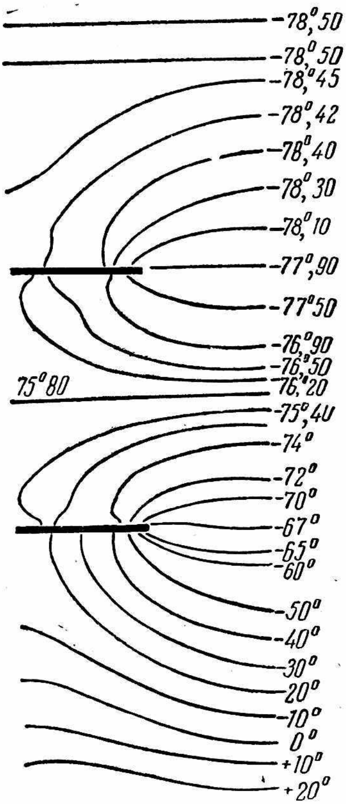

Рис. 3. Линии постоянной фазы поля в нерезонансном случае для E-поляризации $\left(u = 0;\ \frac{a}{l} = 0{,}5;\ \varkappa = 0{,}5\right)$.

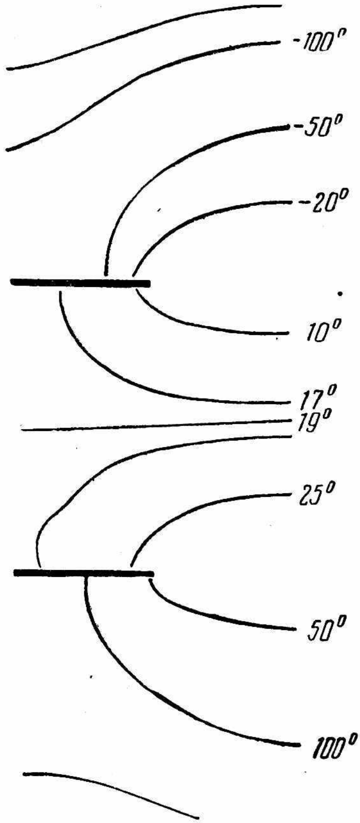

Рис. 4. Линии постоянной фазы поля в резонансном случае для E-поляризации $\left(u = 0;\ \frac{a}{l} = 0{,}5;\ \varkappa = 0{,}78\right)$.

по $\frac{z}{l}$. Такие величины интервалов вполне достаточны для получения качественной картины поля при $\varkappa < 1$. Учитывалось пять гармоник поля.

Необходимо отметить, что при вычислении полей на ЭВМ точки наносились программно с выдачей на широкую печать АЦПУ. При этом для модуля амплитуды бралось три цифры после запятой, а для фазы — одна. Масштаб подобран таким образом, чтобы он был одинаков как по $\frac{y}{l}$, так и по $\frac{z}{l}$ для данного $\varkappa$ и не зависел от $\frac{a}{l}$. Поле формировалось и строилось на полупериоде по $\frac{y}{l}$: $-\frac{l}{2} \leqslant \frac{y}{l} \leqslant 0$. В силу симметрии относительно плоскости $\frac{y}{l} = 0$ легко получить поле в интервале $0 \leqslant \frac{y}{l} \leqslant \frac{l}{2}$. При этом масштаб для каждого $\varkappa$ определяется довольно просто: так, для $\varkappa = \frac{l}{\lambda} = 0{,}5$ он равен $\frac{l}{2} = 0{,}25\lambda$, для $\varkappa = \frac{l}{\lambda} = 0{,}78$ масштаб равен $\frac{l}{2} = 0{,}39\lambda$.

При таком подходе к вычислению полей остается провести линии постоянной амплитуды и фазы, что значительно облегчает построение полей.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Е. Буданов, С. А. Масалов, В. П. Шестопалов. Исследование структуры дифрагированного поля на ленточной решетке. Сб. «Радиотехника», вып. 4. Изд-во ХГУ, Харьков, 1967.

2. В. Г. Сологуб, В. П. Шестопалов. Дифракция электромагнитной волны на решетку из брусьев прямоугольного сечения. ЖТФ, 38, 9, 1968.

3. Н. Г. Савенко. Собственные колебания периодической бесконечной системы плоских открытых резонаторов. Сб. «Радиотехника», вып. 7. Изд-во ХГУ, Харьков, 1968.

4. Н. Г. Савенко. Численный метод исследования собственных колебаний системы связанных плоских резонаторов. Сб. «Радиотехника», вып. 10. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.