

УДК 517.951

ДИФРАКЦИЯ ПОЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИПОЛЯ НА ИДЕАЛЬНО ПРОВОДЯЩЕЙ СФЕРЕ, НАГРУЖЕННОЙ НА ПРЯМОУГОЛЬНУЮ ЩЕЛЬ

И. Б. Гаврис

Численно решена задача, моделирующая излучающую систему, состоящую из электрического дипольного источника и идеально проводящей сферы, нагруженной на прямоугольную щель. Результаты представлены в виде диаграмм направленности и графиков, характеризующих поведение составляющих проводимости нагрузки в зазоре щели. Последняя обеспечивает рассматриваемой излучающей системе максимальную мощность излучения.

Настоящая работа посвящена исследованию решения задачи, моделирующей излучающую систему, состоящую из электрического дипольного источника с произвольной ориентацией момента и идеально проводящей сферы, нагруженной на прямоугольную щель. Целью работы является анализ полученных с помощью ЭВМ результатов численного

решения задачи, представленных диаграммами направленности и графиками, характеризующими поведение активной и реактивной составляющих проводимости нагрузки на щели, обеспечивающей рассматриваемой системе максимальную мощность излучения. О необходимости исследования электромагнитного излучения моделей типа «диполь + нагруженная на щель сфера» указано в [5].

Предполагается, что диполь расположен в точке A однородного изотропно пространства на расстоянии b от начала координат. Момент диполя L (рис. 1) ориентирован под углом α к оси Oz . Щель на сфере прорезана вдоль параллели. Центр сферы совпадает с началом координат. Касательные составляющие

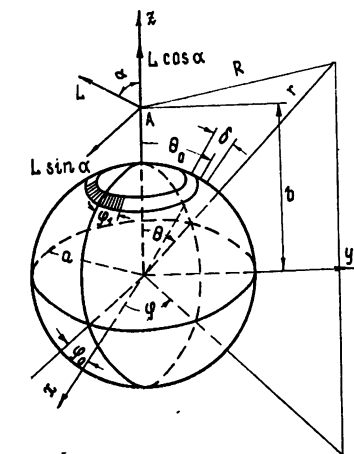


Рис. 1.

напряженности суммарного поля на поверхности сферы задаются в виде

$$E_{\theta} = \begin{cases} (V/a)f_{\theta}(\alpha, \theta, \varphi) & \text{на щели} \\ 0 & \text{вне щели} \end{cases}, \quad E_{\varphi} = \begin{cases} (V/a)f_{\varphi}(\alpha, \theta, \varphi) & \text{на щели} \\ 0 & \text{вне щели} \end{cases}. \quad (1)$$

По заданным значениям составляющих (1) необходимо определить векторы E , H суммарного поля, а также величину нагрузки на щели, обеспечивающую рассматриваемой излучающей системе максимальную мощность излучения.

В математической постановке задача сводится к следующей краевой задаче для уравнения Гельмгольца: требуется найти электрический u и магнитный v потенциалы Дебая суммарного поля, удовлетворяющие вне поверхности сферы однородному уравнению Гельмгольца

$$\overline{\Delta u} + k^2 \overline{u} = 0, \quad (2)$$

записанному в сферических координатах r, θ, φ (\overline{u} принимает значения u либо v), на поверхности сферы — граничным условиям (1), на бесконечности — условию излучения и дополнительно условию, обеспечивающему максимальную мощность излучения [2]. Здесь a — радиус сферы, θ_0, φ_0 — координаты центра щели, δ — ширина щели, $2\varphi_1$ — угловая длина щели, V — неизвестное напряжение в зазоре щели, k — волновое число. Далее, $f_\theta(\alpha, \theta, \varphi)$, $f_\varphi(\alpha, \theta, \varphi)$ — функции, которые в соответствии с законом изменения рассеянного поля на сфере без щели задаются в виде

$$f_\theta = - \left[\frac{\cos \alpha}{\delta} + \frac{\sin \alpha}{\delta} \cos \frac{\pi(\varphi - \varphi_0)}{2\varphi_1} \right],$$

$$f_\varphi = - \frac{\sin \alpha}{\delta} \sin \frac{\pi(\varphi - \varphi_0)}{2\varphi_1}.$$

Процедура отыскания входящих в (2) потенциалов u, v , а через них и составляющих векторов \mathbf{E}, \mathbf{H} , затем напряжения в зазоре щели V и проводимости нагрузки на щели Y_l , при которой мощность излучаемого системой поля максимальна, описана в [1-3]. Поэтому опустим изложение всех вопросов, связанных с отысканием потенциалов и нагрузки на щели, а приведем лишь расчетные формулы, определяющие величину нагрузки на щели и значения комплексных амплитуд рассеянного поля в волновой зоне, позволяющие рассчитывать диаграммы направленности и строить графики, характеризующие поведение составляющих проводимости нагрузки на щели, при различных значениях параметров задачи.

Итак, следуя [2, 3], найдем, что максимальная мощность излучения достигается при значении проводимости нагрузки на щели

$$Y_l + Y = -N(A + iB)/F,$$

при этом напряжение в зазоре щели

$$V = (k |L|/b)(N/(Y_l + Y)),$$

где

$$N = \int_{\theta_0 - \delta/2}^{\theta_0 + \delta/2} \int_{\varphi_0 - \varphi_1}^{\varphi_0 + \varphi_1} [f_\varphi (H_\theta^{(i)} + H_\theta^{(r)}) - f_\theta (H_\varphi^{(i)} + H_\varphi^{(r)})] \sin \theta d\theta d\varphi,$$

$$Y = \int_{\theta_0 - \delta/2}^{\theta_0 + \delta/2} \int_{\varphi_0 - \varphi_1}^{\varphi_0 + \varphi_1} (f_\theta H_\varphi^{(s)} - f_\varphi H_\theta^{(s)}) \sin \theta d\theta d\varphi,$$

$$F = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi (|S_\theta^{(i)} + S_\theta^{(r)}|^2 + |S_\varphi^{(i)} + S_\varphi^{(r)}|^2) \sin \theta d\theta d\varphi,$$

$H_\theta^{(k)}(\theta, \varphi)$, $H_\varphi^{(k)}(\theta, \varphi)$ ($k=i, r, s$) — составляющие вектора \mathbf{H} поля диполя ($k=i$), рассеянного поля ($k=r$) и поля щели ($k=s$), A — действительная, B — мнимая части интеграла,

$$\int_0^{2\pi} \int_0^\pi [(\tilde{S}_\theta^{(i)} + \tilde{S}_\theta^{(r)}) S_\theta^{(s)} + (\tilde{S}_\varphi^{(i)} + \tilde{S}_\varphi^{(r)}) S_\varphi^{(s)}] \sin \theta d\theta d\varphi$$

(символ \sim означает комплексное сопряжение).

Комплексные амплитуды суммарного поля рассчитываются по формулам

$$S_0(\theta, \varphi) = S_0^{(i)}(\theta, \varphi) + S_0^{(r)}(\theta, \varphi) - F/(A + iB) S_0^{(s)}(\theta, \varphi),$$

$$S_\varphi(\theta, \varphi) = S_\varphi^{(i)}(\theta, \varphi) + S_\varphi^{(r)}(\theta, \varphi) - F/(A + iB) S_\varphi^{(s)}(\theta, \varphi),$$

где $S_0^{(k)}(\theta, \varphi)$, $S_\varphi^{(k)}(\theta, \varphi)$ ($k=i, r, s$) — комплексные амплитуды поля диполя ($k=i$), рассеянного поля ($k=r$) и поля щели ($k=s$) — определяются по формулам (1) [2] с использованием асимптотических представлений для сферических волновых функций.

Ниже приведены некоторые из результатов численного решения задачи, представленные диаграммами направленности и графиками, характеризующими поведение составляющих проводимости нагрузки на щели, полученных при значениях $ka=3$, $b/a=1,5$, $\varphi=0^\circ$, $\varphi_0=0^\circ$, $\theta_0=30^\circ$, $\varphi_1=40^\circ$.

На рис. 2, 3 сплошной линией изображены нормированные на свой максимум диаграммы направленности суммарного поля излучающей системы — графики функции

$$|S(\theta, \varphi)| = |S_0(\theta, \varphi)|^2 + |S_\varphi(\theta, \varphi)|^2,$$

а пунктирной линией нормированные на свой максимум диаграммы направленности поля щели — графики функции

$$|S'(\theta, \varphi)|^2 = |S_0^{(s)}(\theta, \varphi)|^2 + |S_\varphi^{(s)}(\theta, \varphi)|^2.$$

На рис. 4 приведены графики, характеризующие поведение составляющих проводимости нагрузки на щели, которые строились при тех же значениях параметров, при которых рассчитывались диаграммы направленности на рис. 2, 3. Сплошной линией изображена активная составляющая нагрузки, а пунктирной линией — ее реактивная составляющая.

Диаграммы направленности, изображенные на рис. 2а, получены в зависимости от изменения ориентации момента диполя при фиксированном положении щели на сфере, на рис. 2б — в зависимости от смещения центра щели вдоль медианы при фиксированных ее размерах ($\alpha=0^\circ$), на рис. 2в — в зависимости от изменения частоты колебаний ($\alpha=45^\circ$), на рис. 3г — в зависимости от удаления диполя от поверхности сферы ($\alpha=45^\circ$), на рис. 3д — в зависимости от растяжения щели вдоль параллели ($\alpha=0^\circ$), на рис. 3е — в зависимости от смещения центра щели, вдоль параллели при фиксированных ее размерах ($\alpha=45^\circ$).

Диаграммам направленности, приведенным на рис. 2а—в и рис. 3 г—е, соответствуют графики, характеризующие поведение активной и реактивной составляющих проводимости нагрузки на щели, изображенные соответственно на рис. 4а—в и рис. 4г—е.

Видно, что в результате изменения ориентации момента диполя (рис. 2а) и в результате смещения щели вдоль меридиана (рис. 2б) существенным образом изменяется как форма диаграмм направленности, так и направленность излучения. При этом в большинстве случаев наблюдаются существенные различия между диаграммами суммарного поля и поля щели, которые вызваны влиянием диполя. Однако следует особо отметить, что это влияние не столь существенно, например, для $\alpha=120^\circ$ (рис. 2а) и $\theta_0=60^\circ$ (рис. 2б). В этих случаях, как видно из рис. 4а и 4б, значения активной и реактивной составляющих нагрузки на щели приближаются к нулю.

Диполь оказывает также преимущественное влияние на формирование диаграмм направленности суммарного поля при малых ka (рис. 2в) или когда он расположен на близких расстояниях от поверх-

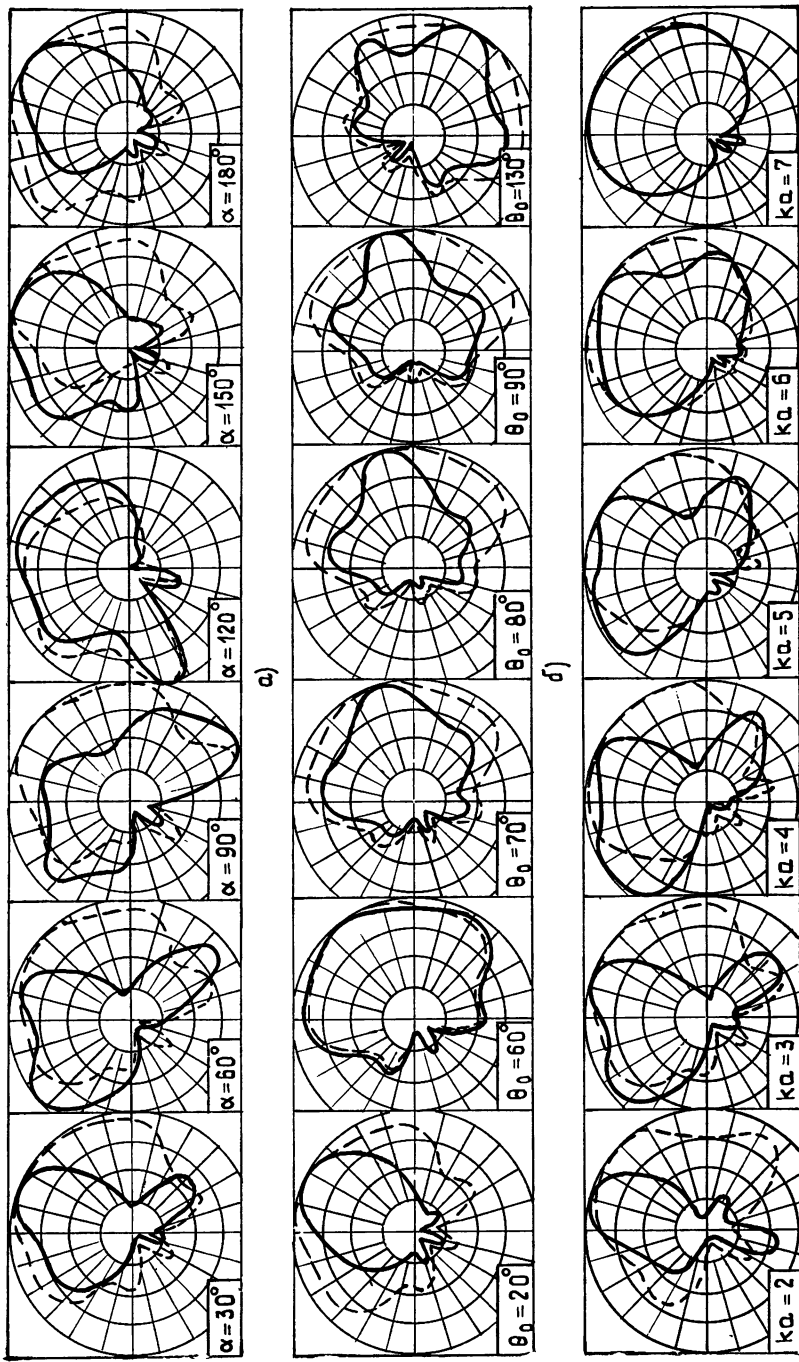


Рис. 2.

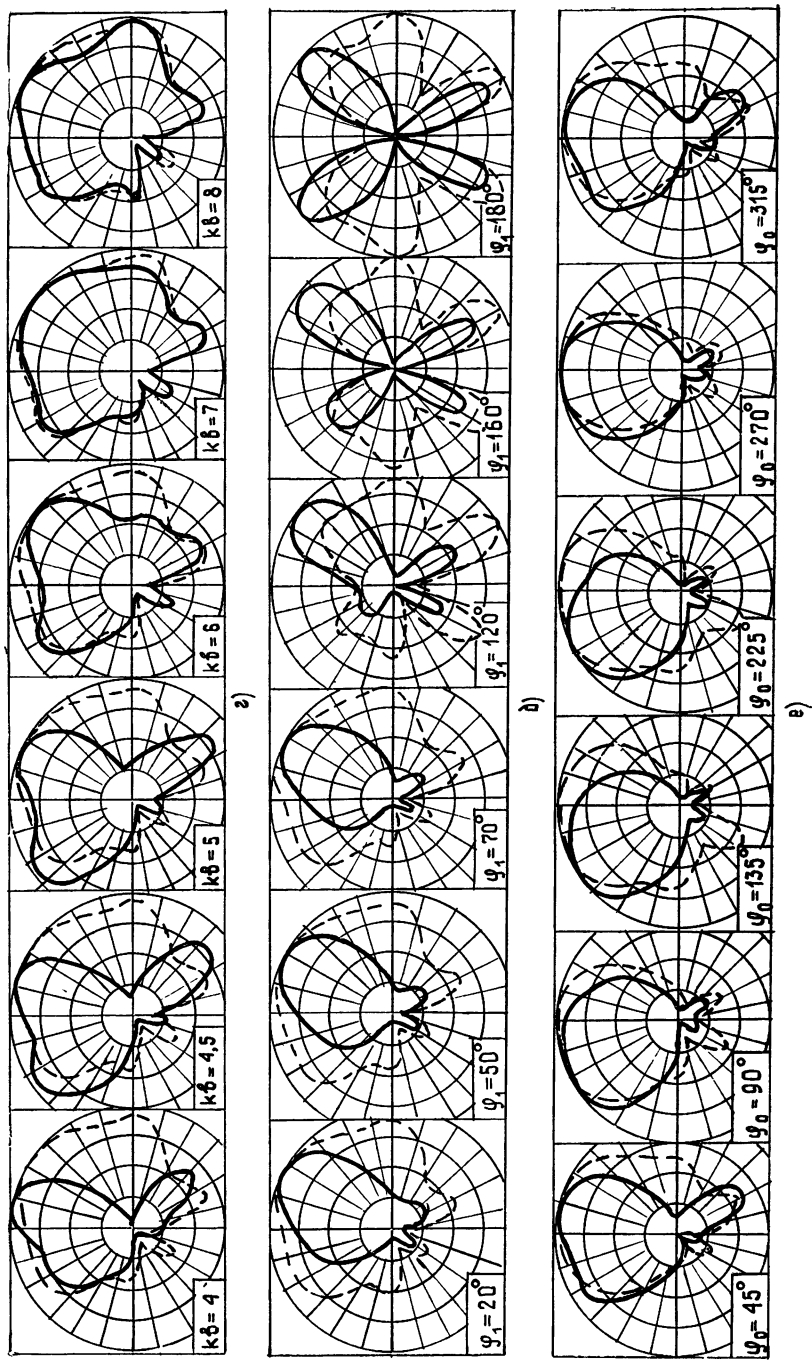


Рис. 3.

ности сферы (рис. 3г). По мере увеличения частоты колебаний ($ka \geq 7$) или удаления диполя от поверхности сферы ($kb \geq 7$) диаграммы направленности суммарного поля приближаются к диаграммам направленности поля щели.

Форма диаграмм направленности и их направленность излучения существенным образом изменяются при увеличении угловой длины щели (рис. 3д). Так, в результате растяжения щели до круговой ($\varphi_1 = 180^\circ$) осуществляется переход от однолепестковых к двухлепестковым диаграммам направленности. Диаграммы направленности, полу-ченные, например, при значениях $\varphi_0 = 45^\circ$ и $\varphi_0 = 315^\circ$ (рис. 3е), указывающих на симметричное расположение щели относительно плоскости диполя ($\varphi = 0^\circ$), совпадают между собой.

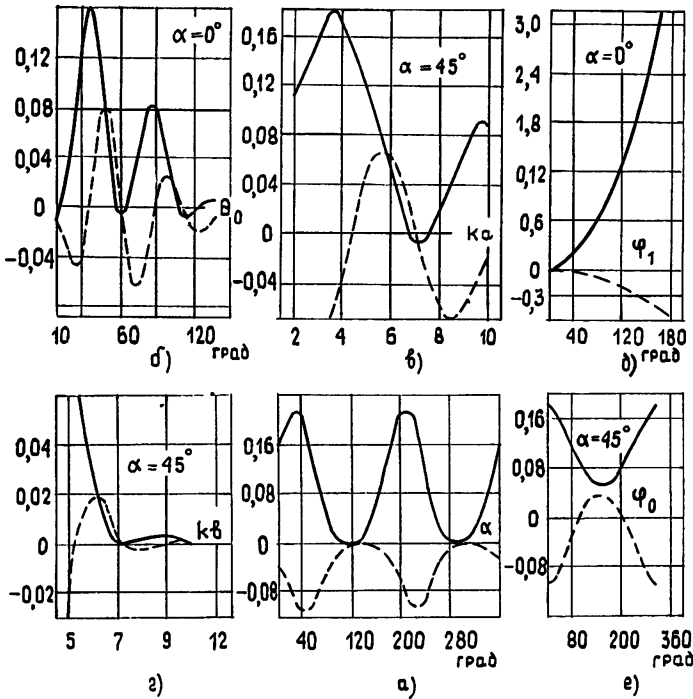


Рис. 4.

Таким образом, как видно из рис. 2, 3, в результате изменения ориентации момента диполя, смещения центра щели вдоль меридиана и параллели, удаления диполя от поверхности сферы, изменения размеров сферы и щели возможно получение различных как по форме, так и по направленности излучения диаграмм направленности, в том числе и слабонаправленных (рис. 2б ($\theta_0 = 60^\circ$), рис. 2в ($ka = 7$), рис. 3г ($kb = 7$)), удобных для ближней связи.

Отметим, что расчет диаграмм направленности осуществлялся при значениях нагрузки, обеспечивающих максимальную мощность излучения. Составляющие проводимости нагрузки на щели (рис. 4) ведут себя по-разному при различных значениях параметров. Характерным при этом является то, что значения активной составляющей нагрузки всегда положительны, а реактивная составляющая, изменяясь, принимает как положительные, так и отрицательные значения. В случаях, когда значения составляющих нагрузки одновременно приближаются к нулю, преимущественный характер на формирование диаграммы направленности суммарного поля оказывает поле щели.

Некоторые из результатов численного решения этой задачи для случаев, когда момент диполя L ориентирован вдоль оси Oz ($\alpha=0$), а щель на сфере прорезана вдоль параллели по всей окружности ($\varphi_1=180^\circ$), приведены в [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Е. А. Дифракция электромагнитных волн на двух телах.— Минск: Наука и техника, 1968, с. 302.
2. Гаврис И. Б.— Вестник Белорусского гос. ун-та, 1974, 1, № 2, с. 3.
3. Bailin L. L., Silver S.— IRE Trans., 1956, AP-4, p. 5.
4. Иванов Е. А., Гаврис И. Б.— Изв. вузов — Радиофизика, 1977, 20, № 4, с. 576.
5. Гаврис И. Б.— Изв. вузов — Радиофизика, 1978, 21, № 9, с. 1338.

Белорусский государственный
университет

Поступила в редакцию
29 июня 1982 г.

FIELD DIFFRACTION OF AN ELECTRIC DIPOLE BY AN IDEALLY CONDUCTING SPHERE LOADED ON THE ORTHOGONAL SLIT

I. B. Gavrish

Results of the numerical solution of the problem modelling an emission system consisted of the electric dipole emitter and an ideally conducting sphere loaded on the slit clearance which provides the system under consideration for emission of maximum power.

Аннотации депонированных статей

УДК 621.391.24

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЛУКТУИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ ЛИНЕЙНЫМИ СИСТЕМАМИ

А. М. Силаев, А. В. Якимов

Предлагается, ориентированный на применение ЭВМ, новый метод расчета спектральных характеристик амплитудно-фазовых флуктуаций сигнала на выходе произвольной линейной системы с постоянными параметрами. В отличие от существующих традиционных методик не используются ни укороченные, ни символические уравнения. Результаты представлены в виде алгоритма, оперирующего с (комплексными) матрицами второго ранга. Матрица спектров выходного сигнала определяется как произведение аналогичной матрицы для входного сигнала и матрицы преобразований. Элементы последней матрицы несложным образом вычисляются через заданный комплексный коэффициент передачи системы. Приведен ряд примеров использования алгоритма.

*Статья депонирована в ВИНТИ,
рег. № 581-83. Деп. от 2 февраля 1983 г.*
