

01;05.2

Особенности распределения интенсивности электромагнитного поля вблизи источника в случайной дискретной среде

© А.Ю. Ветлужский

Бурятский научный центр СО РАН, Улан-Удэ
E-mail: vay@ofpsrv.bsc.buryatia.ru

Поступило в Редакцию 25 января 2002 г.

Теоретически и экспериментально исследовано пространственное распределение средней и когерентной интенсивностей электромагнитного поля в случайной сильно флуктуирующей дискретной среде без потерь. Обнаружено, что при определенных плотностях среды значения средней интенсивности поля вблизи источника, погруженного в нее, могут значительно превышать интенсивность поля в свободном пространстве.

Исследованию распространения электромагнитных волн в случайно-неоднородных средах посвящено значительное число работ. Интерес к этим проблемам обусловлен широким практическим применением указанных исследований, поскольку большинство природных сред могут рассматриваться как случайно-неоднородные. Теоретический анализ таких задач базируется на различных подходах, примерами которых могут служить теория переноса излучения и методы теории многократного рассеяния [1,2]. Как правило, получение на основе данных подходов практически значимых результатов невозможно без использования различного рода приближений. Одним из них является предположение об удаленности источника поля от области случайной среды, в которой определяются статистические характеристики поля.

Цель настоящей работы заключается в теоретическом и экспериментальном изучении пространственного распределения интенсивности поля вблизи источника в случайной сильно флуктуирующей дискретной среде.

Анализировалось возбуждение структуры, образованной идеально проводящими бесконечно длинными цилиндрами малого электриче-

ского радиуса $ka = 0.1$ (a — радиус цилиндров, $k = 2\pi/\lambda$, λ — длина волны), ориентированными параллельно друг другу. В плоскости, перпендикулярной их осям, цилиндры случайным образом со средней плотностью σ располагались в пределах ограниченной области площадью S . Вероятность появления цилиндра на конкретном участке данной области определялась законом Пуассона. В качестве источника поля была выбрана бесконечная нить синфазного электрического тока, размещаемая в центре указанной области параллельно цилиндрам. Таким образом, рассматривалась двумерная задача.

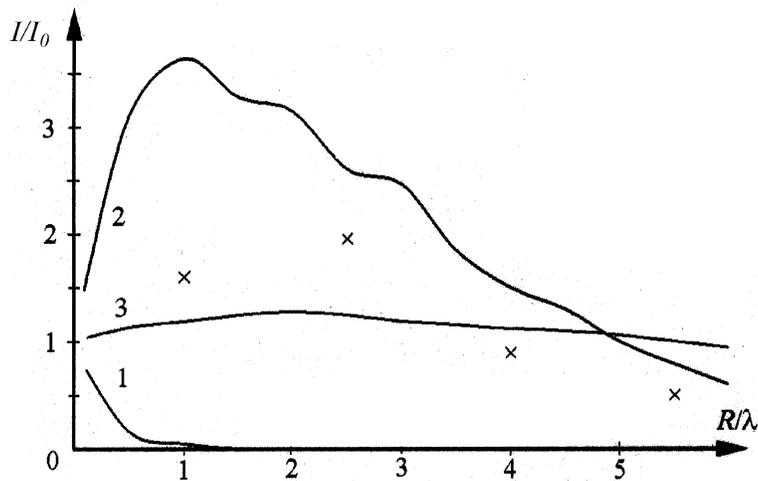
В расчетах определялись средняя $I = \langle |E|^2 \rangle$ и когерентная $I_c = |\langle E \rangle|^2$ интенсивности поля, где E — напряженность поля в точке наблюдения. Матодика расчета основывалась на методе разделения переменных [3], не налагающем ограничений на взаимное положение цилиндров и источника поля. При этом поле в структуре представлялось в виде суммы известного первичного поля и неизвестного вторичного поля, рассеянного на элементах. Последнее записывалось в виде бесконечных рядов по элементарным волновым функциям с неизвестными коэффициентами. В частности, поле, рассеянное на N элементах, искалось в виде суммы N дифракционных рядов, в которой один из рядов составлен из волновых функций одного тела, а волновые функции в остальных рядах при помощи теорем сложения выражены через собственные волновые функции первого тела. Далее из удовлетворения граничным условиям на поверхности каждого цилиндра получались бесконечные системы уравнений с бесконечным числом неизвестных — искомым коэффициентов разложения. Данные уравнения разрешались при усечении рядов на основе допущения о малости геометрических размеров элементов структуры.

Усреднение проводилось по ансамблю из 500 реализаций размещения элементов. При этом число N элементов в каждой реализации варьировалось в соответствии с выбранным законом распределения вероятности появления заданного числа элементов на площади S .

В результате расчетов были определены дистанционные зависимости интенсивностей поля для разных плотностей рассматриваемой структуры и различных размеров области размещения элементов.

Установлено, что когерентная интенсивность, как и ожидалось, убывает при удалении от источника. Степень этого убывания увеличивается с повышением плотности размещения элементов.

Результаты расчета средней интенсивности поля представлены на рисунке. По оси абсцисс отложена величина R/λ , где R — расстояние от



излучателя, по оси ординат — величина средней интенсивности поля в структуре, отнесенная к интенсивности поля I_0 , создаваемого излучателем в свободном пространстве. Цилиндры в данном случае размещались таким образом, что занимали прямоугольную площадку в плоскости, перпендикулярной их осям, равную 12λ на 7λ . Пространственный разрез поля в каждой реализации выполнялся вдоль длинной стороны данной площадки, проходя при этом через ее центр. Кривые 1–3 описывают интенсивность поля в структурах с плотностями 4, 0.444 и 0.063 cm^{-2} соответственно.

Представленные результаты показывают, что при высокой плотности структуры источник поля практически не излучает энергии в окружающее пространство. Поле локализовано в области, непосредственно примыкающей к источнику, средняя интенсивность поля на всем протяжении структуры меньше, чем в свободном пространстве, и быстро спадает при удалении от источника.

Особый интерес, на наш взгляд, представляют результаты, изображенные кривой 2. Из рисунка следует, что с уменьшением плотности структуры источник начинает излучать электромагнитную энергию, однако она сосредоточивается в некоторой зоне, окружающей излучатель, и не распространяется в дальние области структуры из-

за достаточно высокой концентрации размещения элементов. Следует отметить, что максимальные значения средней интенсивности поля в случайной дискретной структуре при этом в несколько раз превосходят значения интенсивности поля в свободном пространстве.

При дальнейшем уменьшении плотности (кривая 3) распределение интенсивности становится более равномерным по всей протяженности структуры и по относительной величине стремится к единице. Этот факт очевиден [1], поскольку в бесконечной случайной дискретной среде в случае погруженного источника при отсутствии потерь полная энергия должна сохраняться.

Исследовавшаяся в работе структура имела ограниченные размеры, поэтому для доказательства применимости полученных результатов к случайным средам были выполнены аналогичные расчеты интенсивностей поля для различных размеров площадок, занимаемых цилиндрами, начиная с ситуации, когда элементы структуры располагались случайным образом в один ряд вдоль линии связи источник–точка наблюдения.

Было установлено, что наблюдаемая на рисунке зависимость пространственного распределения интенсивности от плотности структуры имеет место только для достаточно протяженных структур. В частности, характерный максимум, имеющийся на кривой 2, выявляется только при поперечных (относительно линии проведения разреза поля) размерах структуры не менее трех длин волн. С увеличением этих размеров значения интенсивности поля в области максимума возрастают и стремятся к некоторой постоянной величине, соответствующей интенсивности поля в неограниченной среде.

Для проверки полученных результатов были также выполнены экспериментальные исследования распределения интенсивности поля в структуре, представляющей собой систему цилиндрических металлических элементов, установленных вертикально на проводящую подложку. Измерения проводились на частоте 10 GHz. В качестве излучателя использовался открытый конец волновода, располагавшийся вблизи края структуры, в качестве приемной антенны — четвертьволновый вибратор, погруженный в структуру. Измерения были выполнены при значениях плотности структуры 0.44 см^{-2} на четырех дистанциях между антеннами. Результаты измерений, представляющие собой усреднение по ансамблю из 50 реализаций, изображены на рисунке крестиками.

Наблюдающееся расхождение расчета и эксперимента может быть объяснено малым числом реализаций в измерениях, а также тем, что

источник находился на краю структуры, а не был погружен в нее. Однако качественное подтверждение расчетных данных очевидно.

Таким образом, в работе установлено, что при возбуждении случайной дискретной среды погруженным в нее источником при определенной плотности среды вблизи излучателя образуется область, в пределах которой средняя интенсивность поля значительно превышает его интенсивность в свободном пространстве. По-видимому, сходные эффекты будут наблюдаться и в трехмерных ситуациях, например при возбуждении среды, образованной случайно расположенными хорошо проводящими шарами малых электрических радиусов.

Список литературы

- [1] *Исимару А.* Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. М.: Мир, 1981. В 2 т. 280 с., 318 с.
- [2] *Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И.* Введение в статистическую радиофизику. М.: Наука, 1978. В 3 т. Т. 2. 464 с.
- [3] *Иванов Е.И.* Дифракция электромагнитных волн на двух телах. Минск: Наука и техника, 1968. 584 с.