

РАССЕЯНИЕ ВОЛНОВОГО ПУЧКА ТОНКИМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЦИЛИНДРОМ С ПОТЕРЯМИ

Одаренко Е. Н., Свич В. А., Шматько А. А.
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина
Тел.: (057) 7021057; e-mail: oen@kture.kharkov.ua
Харьковский национальный университет
пл. Свободы, 4, Харьков, 61077, Украина
Тел.: (057) 7075133; e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Аннотация – Решена задача рассеяния лазерного волнового пучка на диэлектрическом цилиндре с потерями. Проведен численный расчет пространственного распределения рассеянного поля внутри и вне цилиндра и выявлен эффект резонансного поглощения поля.

I. Введение

К числу важных для практических приложений в оптоэлектронике, лазерной технике относятся задачи рассеяния плоских волн и волновых пакетов различными объектами, обладающих большими омическими потерями. К таким, в частности, относятся металлический или диэлектрический цилиндры с потерями, с помощью которых можно измерять амплитуду падающего поля, например, лазерного излучения в месте расположения высокоомного провода по величине текущего по проводу наведенного полем тока [1, 2]. В данном сообщении решена задача рассеяния E -поляризованного гауссова волнового пучка (лазерного пучка) на диэлектрическом цилиндре с омическими потерями для произвольных соотношений между радиусом цилиндра, длиной волны и шириной волнового пучка.

II. Основная часть

Рассмотрим возбуждение диэлектрического цилиндра круглого поперечного сечения с потерями E -поляризованным гауссовым пучком. Ограничимся двумерным случаем и нормальным падением пучка на цилиндр. Исходное поле лазерного пучка представим в виде:

$$E_x^i(y, -z_0) = E_0 e^{-\beta^2 y^2}, \quad (1)$$

где E_0 – амплитуда пучка, $\beta = \alpha + ib$, величина $w^2 = \alpha^{-2}$ характеризует радиус волнового пучка, параметр b определяет кривизну волнового фронта пучка.

Для нахождения рассеянного цилиндром поля E_x^r необходимо решить уравнение Гельмгольца с соответствующими граничными условиями для поля в двух областях – вне цилиндра и внутри цилиндра. В самом общем случае это решение можно представить в виде интеграла Фурье

$$E_x^r(y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E(\xi) e^{-(z+z_0)(k_0^2 - \xi^2)^{1/2} - i\xi y} d\xi, \quad (2)$$

здесь $k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}$ – волновое число свободного пространства. Спектральная компонента для исходного волнового пучка находится через обратное преобразование Фурье.

Фактически выражение (2) представляет собой непрерывный спектр плоских волн с определенными амплитудами. Поэтому если известно решение зада-

чи о рассеянии плоских волн на цилиндре, то задача рассеяния волнового пучка с известными спектральными амплитудами может также быть представлена интегралом Фурье типа (2).

Решение задачи рассеяния плоских волн на цилиндре удобно представить в цилиндрической системе координат. Для внутренней и внешней областей цилиндра с учетом соответствующих граничных условий для электромагнитных полей получаем:

$$E_x^1(\rho, \varphi) = E_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} W_n^1 A_n i^{-n+1} e^{in\varphi} J_n(k_0 \sqrt{\varepsilon} \rho), \quad (3)$$

$$E_x^2(\rho, \varphi) = E_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} W_n^2 A_n i^{-n+1} e^{in\varphi} H_n(k_0 \rho). \quad (4)$$

Здесь W_n^1, W_n^2 – коэффициенты, выражаемые через комбинации цилиндрических функций, A_n – весовые коэффициенты.

Полученное решение позволяет проводить анализ пространственного распределения поля внутри и вне диэлектрического цилиндра для различных значений материальных параметров, т.е. рассматривать как сугубо диэлектрические среды (линии передачи), так и близкие к металлическим проводникам со значительным затуханием волн в них.

III. Численные результаты и их анализ

Численный анализ электромагнитных полей, рассеянных диэлектрическим цилиндром проводился по формулам (3), (4) для разных значений вещественной и мнимой частей диэлектрической проницаемости

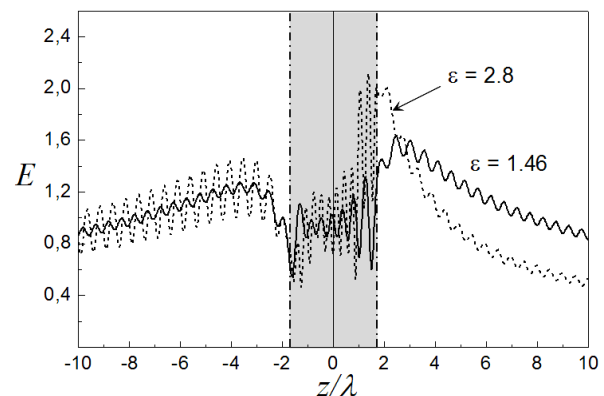


Рис. 1. Амплитуда рассеянного поля гауссова пучка.

Fig. 1. Scattered field amplitude

$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon''$, различных соотношениях между радиусом цилиндра a и длиной волны λ падающего излучения, местоположением источника z_0 и радиусом

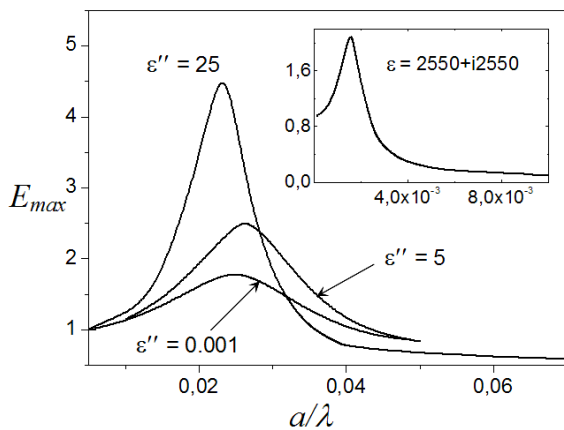


Рис. 2. Максимальная амплитуда поля внутри цилиндра с потерями.

Fig. 2. Maximum field amplitude within the lossy cylinder

кривизны фазового фронта исходного волнового пучка. Кроме этого рассматривались случаи падения на цилиндр волнового пучка и плоской волны. В качестве объекта исследования выбирались: распределения поля в диэлектрическом цилиндре, диаграмма направленности вне цилиндра, зависимости максимальной амплитуды поля внутри цилиндра от соотношения радиус цилиндра – длина волны и др.

На рис. 1 показаны распределения поля вне и внутри цилиндра для различных значений диэлектрической проницаемости. Максимум амплитуды реализуется вблизи поверхности цилиндра. Очевидно, что в данном случае волновод является многомодовым.

Результаты расчетов максимального значения амплитуды поля внутри цилиндра с потерями для различных соотношений между диаметром цилиндра и длиной волны излучения представлены на рис. 2.

Увеличение проводимости цилиндра приводит к заметному повышению уровня концентрации энергии в нем. Анализ показывает, что в одномодовом режиме тонкого цилиндра максимальное значение амплитуды поля реализуется на его оси. Увеличение площади поперечного сечения цилиндра сопровождается снижением уровня концентрации энергии и, как следствие, уменьшением максимальной амплитуды поля. Для значений параметра a/λ , меньших оптимального, происходит снижение эффективности возбуждения собственной волны цилиндра. В этой ситуации максимальная амплитуда поля уменьшается, а ее распределение по сечению цилиндра становится практически однородным.

III. Заключение

Проведен анализ полей для диэлектрического цилиндра с потерями и установлено, что существуют такие значения параметров диэлектрика и размеров волновода, при которых наблюдается концентрация (фокусировка) поля за цилиндром по отношению к падающему полю. Кроме этого при определенных соотношениях параметров задачи наблюдается максимум амплитуды поля в области волновода, что может приводить к оптимальному поглощению энергии поля цилиндром с потерями.

IV. Список литературы

- [1] Rao T. C. R. Scattering by a radially inhomogeneous cylindrical dielectric shell due to an incident Gaussian beam. *Can. J. Phys.*, 1989, **67**, pp.471–475.
- [2] Кузмичев В. М., Кокодий Н. Г., Сафронов Б. В., Балкашин В. П. Фактор эффективности поглощения тонкого металлического цилиндра в микроволновом диапазоне. *Радиотехника и электроника*, 2003, Т.48, № 11, с.1349–1351.

WAVE BEAM SCATTERING BY THIN LOSSY DIELECTRIC CYLINDER

Odarenko E. N., Svich V. A., Smat'ko A. A.
Kharkov National University of Radioelectronics
 Lenin av., 14, Kharkov, 61166, UKRAINE
 phone: (057) 7021057
 e-mail: oen@kture.kharkov.ua
Kharkov National University
 Svobody Sq.4, Kharkov, 61077, UKRAINE
 phone: (057) 7075133
 e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Abstract – The problem of laser wave beam scattering on the lossy dielectric cylinder is solved. Numerical calculation of scattered field spatial distribution inside and outside the cylinder is carried out and resonant field absorption effect is detected.

I. Introduction

The problems of plane waves and wave packets scattering by different ohmic lossy objects are important for the practical applications in optoelectronics, laser technology, etc. Metal or dielectric lossy cylinders allow measuring amplitude of the incident field (for example, laser radiation) in the location of a high-ohmic wire by measuring current, induced by field in the wire [1, 2]. In this report the problem of the E-polarized Gaussian wave beam (laser beam) scattering on the lossy dielectric cylinder for arbitrary relations between cylinder radius, wavelength and wave beam width is solved.

II. Main Part

Excitation of lossy round dielectric cylinder by polarized Gaussian beam is considered. We shall be limited by two-dimensional case and normal beam incidence on the cylinder. In order to obtain the scattered field it is necessary to solve the Helmholtz equation with appropriate boundary conditions for the field in two zones - outside and inside the cylinder. The solution obtained allows to carry out the analysis of field spatial distribution inside and outside dielectric cylinder for different values of material parameters.

Field spatial distributions for different permittivity values are shown in Fig. 1. Amplitude maximum is located near the cylinder surface. It is clear that in this case waveguide is multimode.

Field amplitude maxima inside the lossy cylinder for different relations between the cylinder diameter and radiation wavelength are shown in Fig. 2. The analysis displays that in single-mode field amplitude maximum is located on cylinder axis. Cylinder cross-section increase results in the energy density level decrease. Hence the field amplitude maximum also decreases. For the values a/λ lower than optimum, efficiency of the cylinder eigen mode excitation decreases. In this case the field amplitude distribution within the cylinder cross-section is quasi-uniform.

III. Conclusion

Fields analysis for the lossy dielectric cylinder is carried out. Maximum of the field amplitude within the waveguide is determined for particular relations of system parameters. This phenomenon can result in optimum electromagnetic energy absorption by the lossy cylinder.