МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОВОЛОЧНЫХ АНТЕНН, ПОКРЫТЫХ СЛОЕМ ИДЕАЛЬНОГО МАГНЕТИКА

Демидчик В. И., Корнев Р. В.
Белорусский государственный университет
г. Минск, Курчатова, 5, 220064, Беларусь
тел. +375-17-2095878, e-mail: demidvi@bsu.by

Аннотация — Для решения задач возбуждения и рассеяния тонкопроволочных антенн и рассеивателей, покрытых слоем магнитодиэлектрика предложено модифицированное интегральное уравнение Поклингтона. Исследовано влияние подобной оболочки на характеристики рассеяния вибраторных антенн.

I. Введение

Магнитодиэлектрическое покрытие часто используется для изоляции проволочных антенн, модификации их излучающих или рассеивающих свойств. При анализе микрополосковых или печатных антенн им в соответствие можно ставить эквивалентные антенны из цилиндрического проводника в оболочке из магнитодиэлектрика.

Одним из методов анализа таких структур является использование интегральных или интегродифференциальных уравнений для тока в проводниках. К примеру, в [1] предложено интегральное уравнение (ИУ), позволяющее для проводника с оболочкой из диэлектрика проводить анализ его электродинамических свойств в частотной области, в [2] рассматривается ИУ во временной области для тонких проводников, покрытых слоем идеального магнетика.

Цель данной работы — оценить влияние оболочки в виде идеального магнетика на электродинамические характеристики проволочных антенн и рассеивателей на основе предлагаемого интегрального уравнения в частотной области аналогичного ИУ Поклингтона.

II. Основная часть

Рассмотрим решение данной задачи для тонких проводников с плавно меняющейся криволинейной геометрией в рамках квазистатического приближения. Криволинейный проводник радиуса a, длиной *L* покрыт слоем магнетика толщиной $d = b - a$ с относительной магнитной проницаемостью μ_r. Заменим магнетик эквивалентными магнитными токами поляризации $\vec{j}_m = i\omega(\mu_a - \mu_0)\vec{H}$, которые рассматриваются как сторонние токи в свободном пространстве в пределах объема, занимаемого магнетиком.

В этом случае напряженность электрического поля, создаваемого проводником и оболочкой, будет определяться известным выражением [3]:

$$\dot{\vec{E}} = -i\omega\mu_0 \dot{\vec{A}}^{\acute{y}} + \left(1/i\omega\tilde{\varepsilon}_0\right) graddiv\, \dot{\vec{A}}^{\acute{y}} - rot\, \dot{\vec{A}}^{\grave{i}};$$

r — расстояние между точкой источника и точкой наблюдения, x, y, z, x', y', z' — их координаты.

Первые два слагаемые представляют собой выражение для поля $\overline{E}_1$, определяемого поверхностными токами и зарядами проводника, третье слагаемое описывает поле $\overline{E}_2$, обусловленное магнитными поляризационными токами.

В рамках тонкопроволочного приближения, когда $a << \lambda$, где λ — длина волны электромагнитного поля, можно пренебречь азимутальной составляющей поверхностного тока, считая его распределенным по оси проводника. Выражение касательной составляющей поля $\overline{E}_1$ на поверхности проводника имеет вид [4]:

$$E_{1\tau} = \frac{1}{i\omega\varepsilon_0}\int_L I(l')\left[k^2\vec{l}\vec{l}' - \frac{\partial^2}{\partial l\partial l'}\right]Gdl',$$

где $\vec{l}, \vec{l}'$ — единичные векторы точек источника и наблюдения.

Выражение для $\overline{E}_2$ в пренебрежении объемными молекулярными токами, считая, что намагничивание приводит к появлению только поверхностных молекулярных токов на границах $r = a$ и $r = b$, в квазистатическом приближении можно представить в виде

$$\overline{E}_2 = i\omega(\mu_a - \mu_0)\left(\int_0^L I(l)\vec{l}' G_a dl - \int_0^L I(l)\vec{l}' G_b dl\right),$$

$$G_a = e^{-ikr_a}/4\pi r_a,\ G_b = e^{-ikr_b}/4\pi r_b,$$

$$r_a = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2 + a^2},$$

$$r_b = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2 + b^2}.$$

В итоге, используя граничное условие для касательной составляющей электрического поля на поверхности идеального проводника $E_\tau + E_\tau^i = 0$,

где E_τ^i — амплитуда напряженности электрического поля источника возбуждения, получим интегральное уравнение для тока с учетом влияния оболочки из магнетика:

$$E_\tau^i = -\frac{1}{i\omega\varepsilon_0}\int_L I(l')\left\{\left[\mu_r G_a + (1-\mu_r)G_b\right]k^2\vec{l}\vec{l}' - \frac{\partial^2 G_a}{\partial l\partial l'}\right\}dl'. \quad (1)$$

Результаты решения (1) сравнивались с аналогичными данными из [2]. На рис. 1 показана частотная зависимость активной *G* и реактивной *B* частей входной проводимости для вибратора со следующими параметрами: длина плеча *l*=125 мм, радиус вибратора *a*= 3,92 мм, радиус покрытия *b* =5 мм, относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости $\varepsilon_r = 1$, $\mu_r = 2{,}1$, кривые 1 и 3 соответствуют *G* и *B* из [2] , кривые 2 и 4 — результат решения полученного интегрального уравнения.

2009 19th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2009). 14-18 September, Sevastopol, Crimea, Ukraine
© 2009: CriMiCo'2009 Organizing Committee; CrSTC. ISBN: 978-966-335-244-2. IEEE Catalog Number: CFP09788

Для оценки влияния параметров покрытия на характеристики проволочных излучателей исследовалась зависимость эффективной поверхности рассеяния вибратора (ЭПР) от толщины оболочки и ее магнитной проницаемости, длина вибратора — 40 мм, диаметр проводника 0,2 мм.

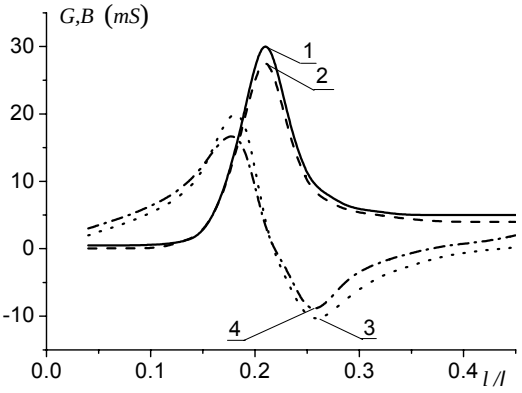

Рис. 1. Зависимость входной проводимости вибратора от частоты.

Fig. 1. Dependence of vibrator input conductivity vs. frequency

Зависимость ЭПР от частоты носит ярко выраженный резонансный характер, ширина полосы резонанса уменьшается с ростом толщины оболочки и проницаемости, резонансная же частота смещается в низкочастотную область.

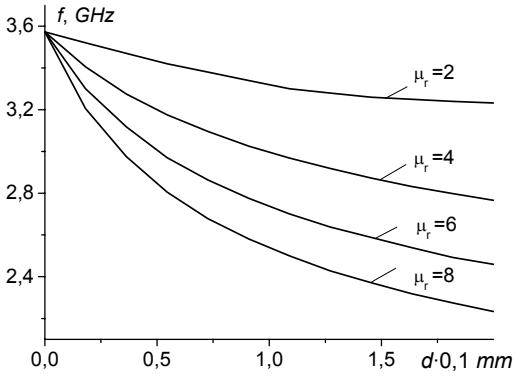

Рис. 2. Зависимость резонансной частоты вибратора от параметров оболочки.

Fig. 2. Dependence of vibrator resonant frequency vs. coating parameters

Рис. 2 позволяет оценить зависимость величины смещения резонансной частоты от магнитной проницаемости оболочки и ее толщины. Сравнение полученных результатов с данными в [4] позволяет сделать вывод о более эффективном влиянии магнитного покрытия на ЭПР чем диэлектрического, что также отмечается в [2].

III. Заключение

Получено ИУ для определения амплитудно-фазового распределения тока в тонких проводниках произвольной геометрии с оболочкой в виде идеального магнетика. Для толщины оболочки, сравнимой с радиусом проводника, и относительной магнитной проницаемостью материала не больше десяти результаты расчетов совпадают с известными литературными данными. Оценено влияние оболочки на ЭПР вибратора.

Предложенное ИУ позволяет проводить электродинамический анализ проволочных антенн и рассеивателей произвольной геометрии, покрытых слоем магнитодиэлектрика.

IV. Список литературы

[1] *Демидчик В. И.* Интегральное уравнение для тонких проводников с диэлектрическим покрытием. Вестн. Белорус. Ун-та. Сер.1, 2000, №3, с.29 — 31.

[2] *Bretones A. R., Marti R. G., Garcia I. S.* Time –Domain Analysis Magnetic-Coated Wire Antennas. IEEE Trans., 1995, **AP-43**, №6, p. 591 — 596.

[3] *Марков Г .Т., Чаплин Г. Ф.* Возбуждение электромагнитных волн. М: Энергия, 1967, 376 с.

[4] *Демидчик В. И., Кухарчик П. Д., Сицко Н.Ю.* Влияние диэлектрической оболочки на характеристики рассеяния проводящих волокон произвольной геометрии. Доклады НАН Беларуси, 2007, **т.51**, №3, с. 37 — 41.

INTEGRAL EQUATION METHOD FOR ANALYZING WIRE ANTENNAS COATED BY A LAYER OF IDEAL MAGNETIC

Demidchik V. I., Kornev R. V.
Belarusian State University
5, Kurchatova Str., Minsk, 220064, Belarus
Ph.: +375-017-2095878, e-mail: demidvi@bsu.by

Abstract — A modified version of Pocklington integral equation is proposed for solving the tasks of excitation and scattering of thin-wire antennas coated with a layer of magnetodielectric. The influence of such a coating on the scattering characteristics of dipole antennas is investigated.

I. Introduction

Magnetodielectric coating is frequently used for thin-wire antennas isolation, for modification of their radiating or scattering properties.

The scope of this work is to estimate the influence of the coating in the form of ideal magnetic on the electrodynamic properties of wire antennas and scatterers in the frequency domain using the proposed equation.

II. Main Part

The solution of this problem for thin conductors with smoothly varying curvilinear geometry can be found on the basis of Pocklington's integral equation within the frames of quasi-static approximation. The influence of magnetic is limited to the consideration of an additional field due to magnetization. The consideration of this influence is realized using the method of equivalent sources, thus replacing the magnetic by magnetical polarization currents that are considered as exterior currents in free space within the volume, filled with magnetic.

Using the obtained integral equation the influence of coating parameters on the value of vibrator effective cross-section (ECS) was investigated taking into consideration the coating thickness and its permeability.

III. Conclusion

The obtained IE allows estimating phased-amplitude current distribution in thin conductors of arbitrary geometry coated by ideal magnetic. In case when coating thickness is comparable to conductor radius and material permeability is no more than 10, the calculation results coincide with known published data. The influence of coating on vibrator ECS was estimated.

The proposed IE allows carrying out electrodynamic analysis of wire antennas and scatterers of arbitrary geometry coated with a layer of magnetodielectric.

© 2009: CriMiCo'2009 Organizing Committee; CrSTC. ISBN: 978-966-335-244-2. IEEE Catalog Number: CFP09788