

ПРИБЛИЖЕННЫЕ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ЭКРАНИРОВАНИЯ ТОНКИХ ПРОВОДЯЩИХ ОБОЛОЧЕК

Н.Н.Бондина, К.И.Живанков, В.М.Михайлов,
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002, Украина.

Граничные условия для касательных составляющих напряженностей электромагнитного поля на поверхностях тонкого проводящего слоя получены в зависимости от принятого закона распределения тока по его толщине. Рассмотрены равномерное и линейное приближения плоской волны распределения. Проведена оценка погрешностей различных приближений на примерах расчета коэффициентов экранирования сферической и цилиндрической оболочек. Библ. 4, рис. 2.

Ключевые слова: электромагнитное поле, граничные условия, проводящий слой, коэффициент экранирования.

Введение. Расчеты электромагнитных полей в системах с тонкими слоями упрощаются при помощи приближенных граничных условий [4,1,3]. Цель работы – формулировка, применение и сравнение таких условий различного приближения для тонких проводящих слоев.

Граничные условия на поверхностях тонкого проводящего слоя. Переменное электромагнитное поле создается в немагнитной среде, разделенной на области 1 и 2 тонким проводящим слоем толщиной d (рис. 1). Введем декартовы координаты x, y, z с началом в произвольной точке O на внешней поверхности тонкого слоя и перпендикулярной к ней осью z . Обозначим \vec{E}_k, \vec{H}_k – напряженности электрического и магнитного поля

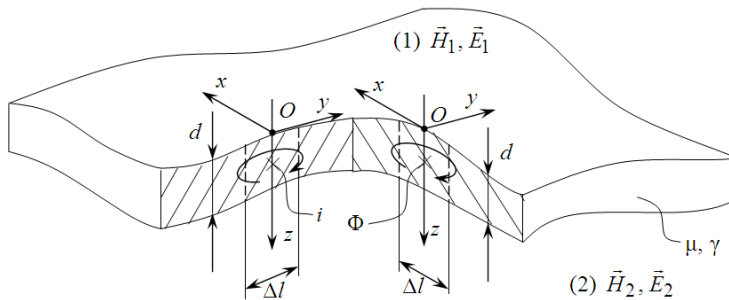


Рис. 1

в k -й области; $\vec{E}, \vec{H}, \vec{B}, \vec{\delta}$ и E_x, H_y, B_y, δ_x – напряженности электромагнитного поля, магнитная индукция, плотность тока в тонком слое, а также их проекции. Воспользуемся законами электромагнитной индукции и полного тока для прямоугольных контуров достаточно малой ширины Δl , расположенных в плоскостях $y=0$ и $x=0$ симметрично оси z так, что их основания лежат на граничных поверхностях, а высота равна толщине слоя d в точке O (на рисунке стрелками показаны направления обхода). Полагаем, что внутри слоя на боковых сторонах этих контуров преобладают проекции E_x и H_y . Применяя условия непрерывности касательных составляющих \vec{E}_k и \vec{E}, \vec{H}_k и \vec{H} на границах слоя, получаем

$$E_{1\tau} - E_{2\tau} \approx \frac{d}{dt} \int_0^d B_y(z,t) dz, \quad H_{1\tau} - H_{2\tau} \approx \int_0^d \delta_x(z,t) dz. \quad (1)$$

Согласно (1) касательные составляющие напряженностей поля при переходе через тонкий слой претерпевают скачок, численно равный производной по времени линейной плотности магнитного потока Φ или линейной плотности тока i , проходящих по этому слою в направлениях осей y или x .

Коэффициенты электромагнитного экранирования тонких оболочек. Рассмотрим задачи расчета результирующего электромагнитного поля проводящих оболочек толщиной $d \ll R$ (R – радиус внешней поверхности), помещенных в однородное синусоидальное магнитное поле [2]. Для среды, окружающей оболочку, используем скалярный потенциал магнитного поля. Область оболочки исключаем при помощи приближенных граничных условий, полученных из (1) при дополнительных допущениях постоянства удельной электропроводности γ и абсолютной магнитной проницаемости μ , квазистационарности, плоской волны (при этом в (1) точные знаки равенства) и закона распределения тока по ее толщине. Исследованы первое приближение (распределение тока равномерно), три варианта второго приближения (ток распределен по линейному закону, ниже показан вариант 1) и приближение плоской волны [1] (плотность тока удовлетворяет уравнению параболического типа). Распределения тока и магнитного поля согласованы при помощи уравнений для плоской волны. Коэффициенты экранирования в этих приближениях соответственно равны

$$S^{(1)} = [1 + C_{2s}(C_{1\omega} - d/R)]^{-1}, \quad S^{(2,1)} = \left\{ 1 + C_{2s} \left[\frac{d}{R} (C_{1s} \mu / \mu_0 - 1) + C_{1\omega} + C_{1s} (k'd^2) / 2 \right] \right\}^{-1},$$

$$S' = \left\{ (1 - C_{2s} d/R) \text{ch}(k'd) + C_{2s} [K(1 - d/R) + C_{1s}/K] \text{sh}(k'd) \right\}^{-1},$$

где $j = \sqrt{-1}$, $C_{1s} = 2^{s-1}$, $C_{2s} = (1 + 2^{s-1})^{-1}$, $C_{1\omega} = j\omega\mu_0\gamma d(R-d)$, $k' = \sqrt{j\omega\mu\gamma}$, $K = \mu_0 k' R / \mu$, ω – угловая частота, μ_0 – магнитная постоянная, для цилиндрической оболочки $s = 1$, сферической – $s = 2$.

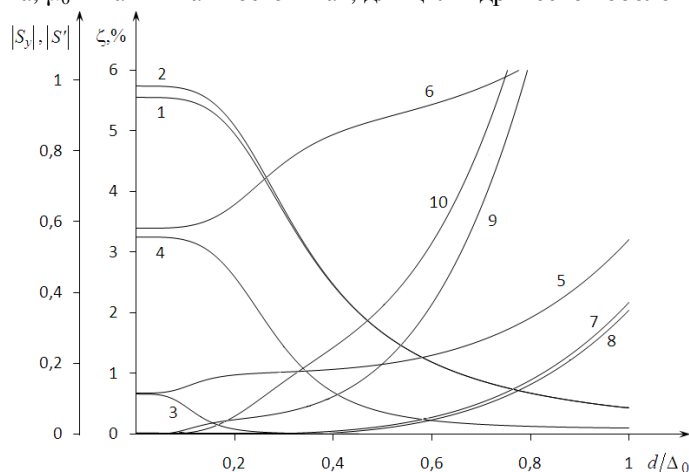


Рис. 2

нитного поля, а расхождения имеют порядок d/R . Эта погрешность устранена в S_y . 2. При $0 < d/\Delta_0 \leq 1$ граничные условия второго приближения – 1 приводят к расхождениям ζ не более 2%, дают более точные значения, чем $S^{(1)}$ и линейное приближение [1] (рис. 2).

1. Жуков С.В. О граничных условиях для определения переменных магнитных полей тонких металлических оболочек // Журнал технической физики. – 1969. – №7. – С. 1149–1154.

2. Каден Г. Электромагнитные экраны в высокочастотной технике и технике электросвязи. – М.-Л.: ГЭИ, 1957. – 328 с.

3. Михайлов В.М. Исходные соотношения и приближенные граничные условия для расчета поля в системах с тонкими слоями // Электричество. – 2007. – №3. – С. 49–55.

4. Цейтлин Л.А. Об определении магнитных и электрических полей тонких слоев и оболочек // Журнал технической физики. – 1958. – № 6. – С. 1326–1329.

УДК 621.3

НАБЛИЖЕНІ ГРАНИЧНІ УМОВИ ТА КОЕФІЦІЕНТИ ЕКРАНУВАННЯ ТОНКИХ ПРОВІДНИХ ОБЛОНОК

Н.М.Бондіна, К.І.Живанков, В.М.Михайлов,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,

вул. Фрунзе, 21, Харків, 61002, Україна.

Граничні умови для дотичних складових напруженостей електромагнітного поля на поверхнях тонкого провідного шару отримано в залежності від прийнятого закону розподілу струму по його товщині. Розглянуто рівномірне та лінійне наближення плоскої хвилі розподілу. Проведено оцінку похибок різних наближень на прикладах розрахунку коефіцієнтів екранування сферичної та циліндричної оболонок. Бібл. 4, рис. 2.

Ключові слова: електромагнітне поле, граничні умови, провідний шар, коефіцієнт екранування.

APPROXIMATE BOUNDARY CONDITIONS AND SCREEN COEFFICIENTS OF THIN CONDUCTIVE SHELLS

N.N.Bondina, K.I.Zhivankov, V.M.Mykhailov, National technical university “Kharkiv polytechnic institute”,

Frunze str., 21, Kharkiv, 61002, Ukraine.

Boundary conditions for tangential components of electromagnetic field strengths on thin conductive layer surfaces are obtained depending on current distribution approximation in thickness of it. Uniform, linear and plane wave current distribution approximations are considered. The errors of the approximations are estimated by way of calculation of spherical and cylindrical screen coefficients. References 4, figures 2.

Key words: electromagnetic fields, boundary conditions, conductive layer, screen coefficient.

1. Zhukov S.V. About boundary conditions for calculation of alternating magnetic fields of thin metal shells // Zhurnal tekhnicheskoi fiziki. – 1969. – №7. – Pp. 1149–1154. (Rus)

2. Kaden G. Electromagnetic screens in high frequency engineering and electric communication. – Moskva-Leningrad: GEI, 1957. – 328 p. (Rus)

3. Mikhailov V.M. Initial relations and approximate boundary conditions for calculation of field in systems with thin layers // Elektrichestvo. – 2007. – №3. – Pp. 49–55. (Rus)

4. Tseitlin L.A. About calculation of magnetic and electric fields of thin layers and shells // Zhurnal tekhnicheskoi fiziki. – 1958. – № 6. – Pp. 1326–1329. (Rus)

Надійшла 20.12.2011

Received 20.12.2011