

**ОСОБЛИВОСТІ ПОГЛИНАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ В
МАТРИЧНИХ СИСТЕМАХ З МЕТАЛЕВИМИ ВКЛЮЧЕННЯМИ**

Левандовський В. Г., к.ф.-м.н., доцент,

Дубенюк А. І., Медведський М. М.

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна*

В повідомленні буде коротко викладені схема та метод розрахунку ефективної діелектричної та магнітної проникностей $\varepsilon_{ef}, \mu_{ef}$ для матричної системи (МС) з однаковими металевими включеннями сферичної форми. Такі МС знаходять значне застосування в техніці завдяки широкому спектру властивостей. При вивченні процесів взаємодії електромагнітних хвиль (ЕМХ) з такими МС пряме використання формалізму ефективного середовища (формули Максвелл–Гарнетта (МГ)) [1] через велику провідність σ металевих частинок ($10^5 - 10^7 \text{ Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$) в звичайному вигляді є неправомірним. Для узагальнення цих співвідношень більш детально проаналізуємо взаємодію електромагнітної хвилі (ЕМХ) з окремою сферичною частинкою радіуса a , використовуючи точний розв'язок задачі для повного перерізу розсіяння ЕМХ такою частинкою, одержаний іще Мі [1]:

$$G = \frac{2\pi}{k^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ (2n+1) \left(|a_n|^2 + |b_n|^2 \right) \right\}, \quad (1)$$

де коефіцієнти a_n і b_n залежать від параметрів $x = 2\pi a N_a / \lambda$; $N_a = \sqrt{\varepsilon\mu}$; $m = (\varepsilon_1\mu_1 / \varepsilon\mu)^{0.5}$; ε_1, μ_1 — діелектрична та магнітна проникності відповідно матриці та частинки, віднесені до ε_0, μ_0 — діелектрична та магнітна проникності вакууму. При $|x| \ll 1$ та $|mx| \ll 1$ всіма членами в (1) окрім a_1 можна знехтувати, що призводить при малих коефіцієнтах заповнення частинок f — до формул МГ. В нашому випадку $|x| \ll 1$, але $|mx|$ не є малою величиною через велике значення σ . Це наближення прийнято називати квазістатичним. В цьому випадку b_1 може зрівнятися з a_1 . Після низки перетворень одержимо формули, подібні до МГ, але із заміною параметрів ε_1, μ_1 на $\varepsilon_1 F(mx), \mu_1 F(mx)$, де функція $F(mx)$ має вигляд:

$$F(z) = 2 \frac{\sin z - z \cos z}{(z^2 - 1) \sin z + z \cos z}, \quad (2)$$

Причому при $z \rightarrow 0, F(z) \rightarrow 1$. Розглянемо більш детально застосування цих співвідношень в таких МС в області частот $10^9 - 10^{12}$ Гц, коли для більшості металів $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon_p + i\eta$, де i — уявна одиниця, ε_p — внесок фонових, а $\eta = 60\sigma\lambda$, причому $\eta \gg \varepsilon_p$. В цьому випадку $mx \approx (a/\delta)(1+i)$, де

$\delta = \lambda / \pi \sqrt{2\eta\mu}$ — товщина скін-шару. Використовуючи одержані співвідношення, з урахуванням (2) та уточненої формули МГ, одержимо вирази для $\varepsilon_{ef}, \mu_{ef}$:

$$\varepsilon_{ef} = \varepsilon \left(1 + \frac{3f}{1/\alpha_e - f} \right); \quad \mu_{ef} = \mu \left(1 + \frac{3f}{1/\alpha_m - f} \right);$$
$$\alpha_e = \frac{1 + i\eta^{-1} \frac{1}{2} [H(mx) - 1]}{1 - i\eta^{-1} \frac{1}{2} [H(mx) - 1]}; \quad \alpha_m = \frac{1 - \frac{1}{2} [H(mx) - 1]}{1 + [H(mx) - 1]}; \quad H(z) = \frac{z^2}{1 - z \operatorname{ctg}(z)}.$$

Ці формули повністю визначають коефіцієнт поглинання $\alpha = (4\pi/\lambda) \operatorname{Im} \sqrt{\varepsilon_{ef} \mu_{ef}}$ в таких МС. Вони справедливі з точністю до x^5 по довжині хвилі і з точністю до f^2 по степені заповнення. Суттєвим є те, що в розглянутому підході до параметрів x та f додається ще один параметр a/δ , який відповідає відношенню радіуса сфери до товщини скін-шару. Окрім того, навіть у випадку немагнітності включень матриці ($\mu_1 = \mu = 1$), в системі є втрати, пов'язані із уявною частиною μ_{ef} .

Література

1. Борен К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен — М. : Мир, 1986. — 664 с.

Анотація

Представлені схема та метод розрахунку ефективної діелектричної та магнітної проникностей для матричної системи з однаковими металевими включеннями сферичної форми. В розглянутому підході враховано вплив відношення радіуса сфери до товщини скін-шару.

Ключові слова: електромагнітні хвилі, матрична система, ефективні діелектрична та магнітна проникності.

Аннотация

Представлены схема и метод расчёта эффективной диэлектрической и магнитной проницаемостей для матричной системы с одинаковыми металлическими включениями сферической формы. В рассмотренном подходе учтено влияние отношения радиуса сферы к толщине скин-слоя.

Ключевые слова: электромагнитные волны, матричная система, эффективные диэлектрическая и магнитная проницаемости.

Abstract

The scheme and method for calculation of dielectric and magnetic permeability for metallic spheres embedded in matrix system are presented. The influence of the fraction of sphere radius to the skin layer thickness is taken into account.

Keywords: electromagnetic wave, matrix system, effective dielectric and magnetic permeability.