

АНАЛІЗ ОБ'ЄМНОГО РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ У ДИСКРЕТНО-НЕОДНОРІДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ НА ОСНОВІ ХВИЛЕПОДІБНИХ (WAVELET) ПЕРЕТВОРЕНЬ

© Захарія Й.А., 2002

Для аналізу об'ємного розподілу напруженості електричного поля високої частоти у дискретно неоднорідному середовищі застосовано одновимірні хвилеподібні функції в поєднанні з методом інтегральних рівнянь.

A method of solving EFIE (electrical field integral equation) for 3-D microwave field distribution in heterogeneous media by use of wavelets on interval [0,1] is proposed.

На сучасному етапі існують проблеми, пов'язані з використанням електромагнітного поля для нагрівання біологічних об'єктів [2], [6], [9], а також проблеми впливу електромагнітного поля високих частот на живий організм [7]. Середовище біологічних об'єктів є дискретно-неоднорідним, однак електромагнітні характеристики окремих тканин цього середовища, їх залежність від температури і частоти, є відомі з достатньою точністю [10]. Це дозволяє ставити електродинамічну задачу визначення розподілу об'ємної густини потужності нагрівання, а також задачу керування цим розподілом в об'ємі біологічного об'єкта [3].

Відповідно до з'ясованого вище, як ілюстрацію розглядаємо аплікатор електромагнітного поля на основі прямокутного хвилевода з полем стоячої TE_{10} хвилі, що нагріває розташований у хвилеводі біологічний об'єкт [9]. Електродинамічний аналіз з метою визначення розподілу електричної напруженості в об'ємі об'єкта здійснюють найчастіше за допомогою інтегрального рівняння Фредгольма другого роду [1]. Метод базується на другій теоремі еквівалентності, за якою поляризаційні струми в неоднорідному середовищі можна розглядати як струми провідності у вакуумі. На основі дискретизації об'єму середовища його моделюють структурою ниток електричного струму, що протікають в напрямку вектора зовнішнього електричного поля. Однак, внаслідок неоднорідності середовища, поздовжній розподіл поляризаційного струму нитки є нерівномірний. Отже, задача визначення об'ємного розподілу електричної напруженості зводиться до розрахунку поздовжнього розподілу поляризаційного струму нитки. Задача ускладнюється тим, що розподіл цього струму залежить від неоднорідності середовища і для кожної нитки моделі є інший.

Найпростішим є рівномірний розподіл поляризаційного струму на проміжку нитки струму, розташованої в однорідному середовищі. Уточнювати цей розподіл зручно на основі апроксимації розподілу струму за допомогою хвилеподібних функцій та відповідних перетворень (wavelet-transform). Такі функції, придатні для довільного невідомого розподілу, дозволяють забезпечити високу роздільну здатність визначення кривої розподілу струму (напруженості електричного поля), надають можливість прорідження матриць

Взаємозв'язки (12) дозволяють формалізувати розрахунок коефіцієнтів системи рівнянь.

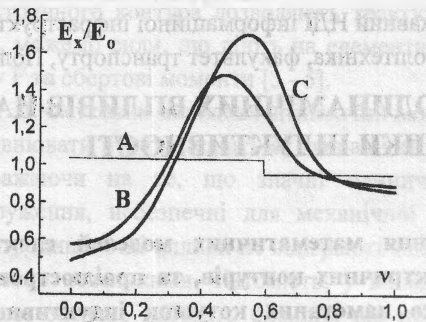


Рис. 2. Розподіл електричної напруженості по довжині неоднорідного діелектричного циліндра. А-наближений розв'язок; В-розв'язок з використанням функції $w_{00}(x)$; С-з використанням функцій $w_{00}(x)$ та $w_{1k}(x)$; $k=0,1$

виразом (10). Знайдені напруженості є вихідними при уточненні розподілу функціями $w_{0,0}(x)$; результат уточнення зображений на рис. 2 кривою В. Наступне уточнення за допомогою функції $w_{1,k}(x)$ ($k=0,1$) зображено кривою С. Розрахунок розподілу у цьому випадку виконаний за допомогою формул (9). Як бачимо, уточнення розподілу з використанням індексу $i=1$ вже мало змінює характер розподілу. Наведений приклад вказує на існування максимуму розподілу електричної напруженості, обумовленого неоднорідністю середовища.

1. Верлань А.Ф., Сизиков В.С. *Интегральные уравнения. Методы, алгоритмы, программы.* - К., 1986. - С.543.
2. Захарія Й.А., Патрило Ю.М. *Моделирование розподілу об'ємної густини потужності електромагнітного поля в умовах гіпертермії* // Вісн. *Радіоелектроніка і телекомунікації.* - № 387. - 2000. - С.13-16.
3. Захарія Й.А., Патрило Ю.М. *Модове керування розподілом об'ємної густини потужності* // Вісн. *Радіоелектроніка і телекомунікації.* - № 398. - 2000. - С. 194-195.
4. Наконечний А.Й. *Теорія малохвильового wavelet перетворення та її застосування.* - Львів, 2001. - 277 с.
5. Никольский В.В., Никольская Т.И. *Декомпозиционный подход к задачам электродинамики.* - М., 1983. - 304 с.
6. Шорт Дж.Г. *Применение физической гипертермии для лечения злокачественных новообразований* // ТИИ?Р. - Т.68. - № 1,6. - 1980. - С.157-168.
7. Jianqing Wang, Osamu Fujiwara. *FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephones* // *IEEE Trans. on MTT-47*, № 8 august 1998. - P. 1528-1534.
8. Sarkar T.K., a.a. *Discrete Wavelet Techniques* // *Antennas & propagation magazine.* - Vol.40. - № 5 october 1998. - P.49-70.
9. Shizuo Mizushina. *A large-size waveguide-applicator for deep regional heating* // *IEEE Trans.on MTT-34.* - № 5 May 1986. - P. 644-648.
10. Stuchly M.A., Stuchly S.S. *Dielectric properties of biological substances tabulated* // *J. Microwave power.* - Vol. 15. - 1950. - P.19-26.

На рис. 2 показаний розподіл електричної напруженості у тонкому неоднорідному діелектричному циліндрі для таких параметрів структури (див. рис.1):

$q = \lambda_0 / 2A = 0.7$; $\zeta = B / A = 0.435$;
 $d / A = 0.4$; $a / A = 0.05$; $h / B = 0.6$;
 $v = x / B$; $\epsilon_1 = 2.24$; $\epsilon_2 = 5.75$, де λ_0 -
 довжина робочої хвилі. Наближений
 розподіл електричної напруженості E_{x1}
 на першому відрізку (h) та E_{x2} на
 другому ($B-h$) відрізку тонкого
 діелектричного циліндра вважаємо
 рівномірним (крива А). Їх розрахунок
 виконано на основі рівняння (4), у якому
 напруженість $E_0^{(q)}$ збігається з
 напруженістю зовнішнього поля, даного