УДК 537.87 DOI: https://doi.org/10.30837/IYF.IRTTPI.2024.5

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ НЕСИМЕТРИЧНОГО ІМПУЛЬСУ ЕЙРІ МЕЖЕЮ НЕСТАЦІОНАРНОГО ДІЕЛЕКТРИКА

Мехедов М.С.
Науковий керівник – к.ф.-м.н., Жила О.В.
Харківський національний університет радіоелектроніки
м. Харків, Україна
E-mail: olha.kuryzheva@nure.ua

The theses proposed the solution of the actual scientific and practical problem of converting an Airy electromagnetic pulse, which has the asymmetrical form, in a non-stationary medium with flat boundary. It is revealed that the position of the Airy pulse relative to the flat boundary of the media is controlled by the starting parameter. It is shown that for positive values of the starting parameter, the main part of the primary Airy pulse is deep in the medium, where the dielectric constant changes at zero time. Otherwise, at negative values of this parameter, the leading edge of the pulse reaches the limit at zero time.

Розглядається задача про перетворення несиметричного імпульсу Ейрі [1] плоскою межею, яка виникає у певний момент часу. Така взаємодія ускладнюється наявністю потрійної асиметрії, яка, окрім несиметричності первинного імпульсу, обумовлена появою межі розділення середовищ у нульовий момент часу. Первинне поле $E_0(t,x)$ у вигляді імпульсу Ейрі має вигляд[2]:

$$E_0(t,x) = \mathrm{Ai}(-t/T + x/vT)\, e^{\alpha(-t/T + x/vT)}, \qquad (1)$$

де $\mathrm{Ai}(t)$ - функція Ейрі, T - часовий масштаб, параметр α характеризує дисипативні властивості середовища.

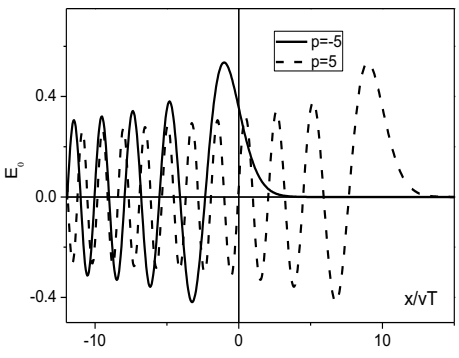


Рис.1. Розміщення первинного імпульсу Ейрі в момент часу $t/T = 5$ для: $p = -5$ (суцільна лінія) і $p = 5$ (пунктирна лінія).

Положення імпульсу відносно плоскої межі розділення середовищ контролюється стартовим параметром $p = -t_0/T + x_0/vT$ (рис.1), який характеризується моментом часу початку дії імпульсу та початковим положенням джерела, генеруючого імпульс. На рис.1 показано, що якщо стартовий параметр набуває від'ємних значень, то передній фронт імпульсу Ейрі не досягає межі розділення середовищ до нульового моменту часу. У протилежному випадку, при додатних значеннях стартового параметру, головна частина

імпульсу перебуває глибоко у середовищі, у якому вже змінилась діелектрична проникність у нульовий момент часу.

У загальному випадку, коли середовище може змінюватись у часі, поле імпульсу описується інтегральним рівнянням:

$$E(t,x) = E_0(t,x) - \frac{v_1^2 - v^2}{2v_1v^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\int_0^\infty dt'\int_0^\infty dx'\,\theta\left(t - t' - \frac{|x - x'|}{v}\right)E(t',x'), \qquad (2)$$

де $E_0(t,x)$ - первинне поле в однорідному середовищі з фазовою швидкістю $v = c/\sqrt{\varepsilon}$ та діелектричною проникністю ε, $v_1 = c/\sqrt{\varepsilon_1}$ - фазова швидкість середовища з діелектричною проникністю ε_1 після нульового моменту часу, $\theta(t)$ - одинична функція Хевісайда.

Поле імпульсу, що пройшов через межу, знаходиться шляхом розв'язання інтегрального рівняння (2) методом резольвенти та описується чотирма імпульсами:

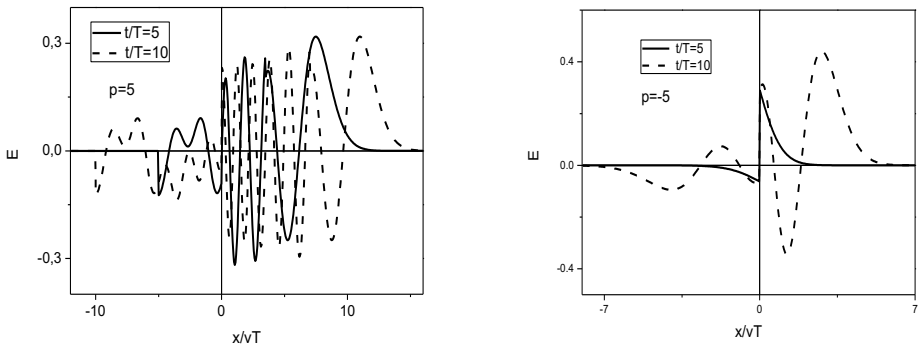
$$E_T(t,x) = \theta(x)\left[\theta\left(t - x/v_1\right)\left(E_{T_1} + E_{T_4}\right) + E_{T_2} + \theta\left(x/v_1 - t\right)E_{T_3}\right], \qquad (3)$$

де

$$E_{T_1} = \frac{2v_1}{v_1 + v}\cdot \mathrm{Ai}\left(-t/T + x/v_1T - p\right),\ E_{T_2} = \frac{v_1(v_1 - v)}{2v^2}\mathrm{Ai}\left(v_1/vT\,(t + x/v_1) - p\right),$$

$$E_{T_3} = \frac{v_1(v_1 + v)}{2v^2}\mathrm{Ai}\left(-v_1/vT\,(t - x/v_1) - p\right), E_{T_4} = -\frac{v_1(v - v_1)^2}{2v^2(v + v_1)}\mathrm{Ai}(v_1/vT\,(t - x/v_1) - p)$$

Еволюцію вторинних імпульсів показано на рис.2 для від'ємного та додатного значень стартового параметру та різних моментів часу.



(а) $p > 0$ (б) $p < 0$

Рис.2. Еволюція вторинних імпульсів після взаємодії з межею

Список використаних джерел:

1. Siviloglou G. A. Accelerating finite energy Airy beams // Optics Letters. 2007. Vol. 32. P. 979–981.
2. Nerukh A., Kuryzheva O., Benson T. Time-spatial structure of Airy pulse in non-stationary environment // Optical and Quantum Electronics. 2018. Issue 2. Articles 52. P. 1–3.