УДК 621.396.677.8(05)

Л.Я. Ільницький, Л.В.Сібрук, Ю.В. Пепа

АНАЛІЗ ІНТЕНСИВНОСТІ ВІДБИТИХ ВІД ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ РАДІОХВИЛЬ В АЕРОДРОМНИХ ЗОНАХ

Розглянуто циліндричні поверхні великого радіусу та проведено аналіз інтенсивності відбитих радіохвиль від цих поверхонь із застосуванням апертурного методу. Знайдені складові поля для вертикальної та горизонтальної поляризацій по відомому опромінюванні циліндра

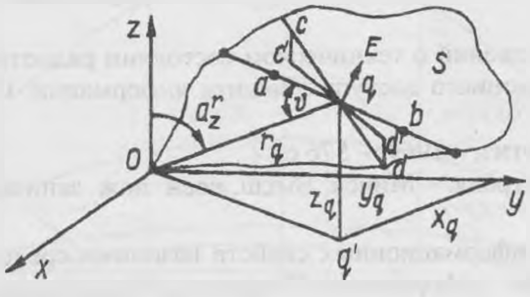
В зоні аеродрому багато об'єктів можна апроксимувати геометрично правильними циліндрами. В тих випадках, коли наземні маяки працюють в діапазонах сантиметрових і дециметрових хвиль, значна кількість таких циліндрів може вважатися циліндрами великого радіусу, тобто такими, у яких радіус більший 10λ, де λ – довжина хвилі. До навігаційних радіомаяків, що працюють в зазначених діапазонах відносяться: системи посадки MLS, система ближньої навігації РСБН, радіодалекомірний маяк DME, деякі радіомаяки, що використовуються для створення диференціального режиму при супутниковій радіонавігації та ін.

Оскільки розглядаються циліндри великого радіусу, то значення відбитої хвилі можна знайти, використовуючи принцип Гюйгенса-Кірхгофа [1] і метод крайових хвиль. Основна складова відбитої хвилі при цьому буде визначатися методом фізичної оптики, а крайові хвилі будуть вносити незначний вклад в результуюче поле. Це дозволяє в першому наближенні знехтувати дифрагованими хвилями на границях циліндра і обмежитися тільки полем, що утворюється відомим розподілом тангенціальних складових на поверхні циліндра.

Отже, перший етап аналізу інтенсивності поля відбитих хвиль полягає в розрахунку амплітудно-фазового розподілу напруженостей полів на поверхні циліндра. Нехай випромінювач (антена радіоелектронної системи) знаходиться на певній відстані від циліндра. Прямокутну систему координат виберемо так, щоби початок координат 0 збігся з фазовим центром випромінювача (див.рисунок).

Вісь y проведемо для зручності паралельно осі злітно-посадкової смуги, вісь z – перпендикулярно поверхні землі. Відрізок ab моделює твірну циліндра. Точка q з координатами x_q, y_q, z_q знаходиться на прямій ab і в тій точці, яка вибрана довільно і може змінювати своє положення по всій поверхні циліндра. Необхідно знайти тангенціальні складові векторів E і H поля випромінювання.

Очевидно, що тут можливі два випадки: при вертикальній поляризації вектор напруженості електричного поля буде знаходитися в площині, яка проходить через вісь z і точку q, а вектор напруженості магнітного поля в площині, що проходить через вісь x і точку q; при випромінюванні хвиль з горизонтальною поляризацією вектор E буде знаходитись в площині, що проходить через вісь x і точку q, а вектор H буде знаходитись в площині, що проходить через вісь y і точку q.



Система координат з початком у фазовому центрі антени

У випадку вертикальної поляризації площина E, яка проходить через вісь z і точку q, буде визначатись рівнянням [2]

$$y_q x - x_q y = 0.$$

В площині E знаходиться трикутник $0qq'$ (див. рисунок). Використовуючи напрямні косинуси (див. рисунок), рівняння (1) запишемо як

$$x\cos\alpha_x^E - y\cos_y^E = 0\,, \tag{1}$$

де $\cos\alpha_x{}^E = y_q / r'_{oq}$; $\cos\alpha_y{}^E = x_q / r'_{oq}$ і $r'_{oq} = \sqrt{x_q^2 + y_q^2}$.

Вектор E знаходиться на прямій cd, яка проведена в площині E через точку q перпендикулярно відрізку $0q$. Позначимо відрізок $0q$, як r_q. Його положення в системі координат визначається напрямними косинусами:

$$\cos\alpha_x{}^r = \frac{x_q}{r_q};\quad \cos\alpha_y{}^r = \frac{y_q}{r_q};\quad \cos\alpha_z{}^r = \frac{z_q}{r_q}; \tag{2}$$

і $$r_q = \sqrt{x_q^2 + y_q^2 + z_q^2}\,.$$

Площина, перпендикулярна відрізку $0q$, визначається рівнянням

$$x\cos\alpha_x{}^r + y\cos\alpha_y{}^r + z\cos\alpha_z{}^r - r_q = 0. \tag{3}$$

Сумісний розв'язок рівняння (1) і (3) буде описувати пряму cd, на якій знаходиться вектор E:

$$\frac{x - x_q}{a_x} = \frac{y - y_q}{a_y} = \frac{z - z_q}{a_z}, \tag{4}$$

де $a_x = \cos\alpha_y{}^E \cos\alpha_z{}^r$; $a_y = -\cos\alpha_x{}^E\cos\alpha_z{}^r$; $a_z = \cos\alpha_x{}^E\cos\alpha_y{}^r - \cos\alpha_y{}^E\cos\alpha_x{}^r$.

З рівняння (4) знаходимо напрямні косинуси прямої cd.

$$\cos\beta_x{}^E = a_x / A_E;\quad \cos\beta^E{}_y = a_y / A_E;\quad \cos\beta_z{}^E = a_z / A_E$$

і $$A_E = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}\,.$$

Вектор E необхідно розкласти на дві складові: одна з них повинна бути паралельною твірній циліндра, інша – перпендикулярна. Тому знайдемо проекцію прямої cd на площину S, що визначається точками a, b, 0. Ця проекція дає можливість визначити паралельну складову вектора E. Перпендикулярна складова буде колінеарна нормалі до площини S. Використовуючи відомі положення аналітичної геометрії [2], по координатам точок $a(x_a, y_a, z_a)$, (x_b, y_b, z_b) і початку координат знаходимо рівняння площини S:

$$(y_a z_b - z_a y_b)\,x + (z_a x_b - x_a z_b)\,y + (x_a y_b - y_a x_b)\,z = 0.$$

Звідси напрямні косинуси позитивної нормалі до площини S

$$\left.\begin{aligned} \cos\alpha_x^0 &= \frac{y_a z_b - z_a y_b}{D};\\ \cos\alpha_y^0 &= \frac{z_a x_b - x_a z_b}{D};\\ \cos\alpha_z^0 &= \frac{x_a y_b - y_a x_b}{D}; \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

$$D = \sqrt{(y_a z_b - z_a y_b)^2 + (z_a x_b - x_a z_b)^2 + (x_a y_b - y_a x_b)^2}\,.$$

Кут між вектором E і нормаллю до площини S визначається як

$$\cos\gamma = \cos\alpha_x{}^0 \cos\beta_x{}^E + \cos\alpha_y{}^0 \cos\beta_y{}^E + \cos\alpha_z{}^0 \cos\beta_z{}^E. \tag{6}$$

Отже, складова вектора напруженості електричного поля, яка перпендикулярна прямій ab,

$$E_\perp = E\cos\gamma. \tag{7}$$

Складова вектора E, що паралельна площині S, має значення

$$E_\tau = E\sqrt{1 - \cos\gamma}\,.$$

Складова вектора E перпендикулярна прямій r_q і розташована на прямій $c'd'$ (див. рисунок). Її проекція на пряму ab знаходиться через кут υ між прямими $ав$ і r_q:

$$E_{II} = E_\tau \cos(\pi/2 - \upsilon) = E_\tau \sin\upsilon. \tag{8}$$

Для розрахунку кута υ запишемо напрямні косинуси відрізка ab.

$$\left.\begin{aligned}\cos\alpha_x^{ab} &= \frac{x_b - x_a}{L};\\ \cos\alpha_y^{ab} &= \frac{y_b - y_a}{L};\\ \cos\alpha_z^{ab} &= \frac{z_b - z_a}{L},\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

де $L = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2 + (z_b - z_a)^2}$ – довжина відрізка ab.

Використовуючи вирази (2) і (9), отримуємо

$$\cos \upsilon = \cos\alpha_x^{ab} \cos\alpha_x^{r} + \cos\alpha_y^{ab} \cos\alpha_y^{r} + \cos\alpha_z^{ab} \cos\alpha_z^{r}. \qquad (10)$$

Отже, за допомогою формул (6), (10) вектор Е поля випромінювання розкладається на дві взаємно перпендикулярні складові E_τ і E_{II}.

Вектор Н перпендикулярний площині Е, тому він колінеарний нормалі до площини Е (1). Враховуючи це, знаходимо проекцію вектора Н і одиничного вектора, колінеарного прямій ab (9). Отже

$$H_{II} = H\left(\cos\alpha_x^E \cos\alpha_x^{ab} - \cos\alpha_y^E \cos\alpha_y^{ab}\right). \qquad (11)$$

Перпендикулярна складова знаходиться як скалярний добуток вектора Н і нормалі до площини S (5)

$$H_{\perp} = H\left(\cos\alpha_x^E \cos\alpha_x^0 - \cos\alpha_y^E \cos\alpha_y^0\right). \qquad (12)$$

У випадку горизонтальної поляризації формули (11) і (12) визначають складові вектора Е, а формули (7) і (8) складові вектора Н.

Вибір точки спостереження q дає можливість однозначно обчислити напрям випромінювання і відстань до фазового центра антени (2), тому при відомих характеристиках антени розрахунок Е і Н не викликає труднощів. Розрахунок інтенсивності відбитих хвиль проводиться із застосуванням апертурного методу по відомому опроміненні циліндра.

Список літератури

1. *Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В.* Антени. – К.: КМУЦА, 1998. – 216 с.
2. *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. – М.: Наука, 1980. – 976 с.

Стаття надійшла до редакції 17.04.01.