

УДК 621.372.852.1

Й.А. Захарія, І.Н. Прудіус, В.Г. Сторож
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра радіоелектронних пристроїв та систем

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ДІЕЛЕКТРИЧНОГО ТІЛА НА ПАРАМЕТРИ ВИПРОМІНЮВАЧА

© Захарія Й.А., Прудіус І.Н., Сторож В.Г., 2002

Здійснено моделювання зміни параметрів півхвильового вібратора під дією діелектричного тіла скінченних розмірів. При цьому тіло замінюється системою ниток електричного струму.

Modeling of the parameters changes for a half-wave dipole under a dielectric body of finite dimensions influence has been carried out. The body has been replaced by a system of electric current filaments in this model.

Багато радіотехнічних систем, зокрема системи неруйнівного контролю, ближньої локації, базуються на принципі збурення електромагнітного поля стороннім або досліджуванім об'єктом. За величиною й характером збурення судять про властивості об'єкта, швидкість його переміщення тощо.

Інформаційний сигнал у цих системах з'являється внаслідок зміни величини зв'язку між двома випромінювачами – приймальним та передавальним. В автодинах цей сигнал є результатом зміни параметрів антени, яка є елементом контура автогенератора, визначаючи, отже, зміну частоти й потужності випромінюваних коливань.

Діелектричне, в загальному випадку втрачне, тіло вимагає розгляду як внутрішнього так і зовнішнього поля дифракції. Відповідну електродинамічну задачу можна розв'язувати на основі зручної фізичної моделі різними методами: методом інтегрального рівняння, за допомогою теореми взаємності, методом збурення тощо.

У літературі, як правило, ставиться й розв'язується задача визначення ефективної площі досліджуваного об'єкта [1,2]. В [1], на основі інтегральних рівнянь для поверхні, методом моментів визначається ефективна площа розсіяння однорідного діелектричного тіла обертого довольної форми. Стаття [2] присвячена визначенню ефективної площі розсіяння діелектричних тіл з втратами. У ній також подано результати розрахунку вхідного імпедансу півхвильового вібратора за наявності діелектричного тіла, яке замінюють системою поляризаційних струмів. Ця заміна призводить до необхідності розв'язувати системи лінійних алгебраїчних рівнянь високого порядку.

Метою наведеного нижче аналізу є визначення впливу діелектричного тіла на параметри паралельного півхвильового вібратора. Пропонується використати метод Гальоркіна для спрощеної моделі електродинамічної задачі, структура якої зображена на рис. 1. На рисунку зображено діелектричне тіло циліндричної форми діаметром $2g$ та висотою $2H$. Вісь тіла знаходиться на віддалі R від півхвильового електричного вібратора A .

Для моделювання розсіяного діелектриком поля використовуємо систему ниток електричного струму ($\mathbf{V}_1 \dots \mathbf{V}_N$), паралельних до осі циліндра і розташованих всередині

об'єму, який він займав. Будемо вважати, що ця система розташована у вакуумі (середовище ззовні діелектричного циліндра). Довжина ниток збігається з довжиною циліндра. Крайові умови для струму на кінцях ниток моделі будемо вважати нульовими і цим реалізуємо згадане вище спрощення. Моделювання внутрішнього поля дифракції здійснюється також системою паралельних ниток струму ($C_1 \dots C_N$), розташованих ззовні діелектричного циліндра, але у однорідному середовищі з параметрами діелектрика циліндра. Довжина цих ниток збігається з довжиною ниток використаних для моделювання зовнішнього поля дифракції.

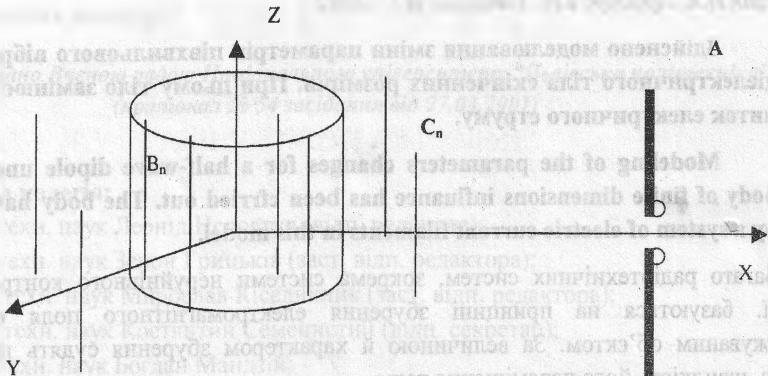


Рис. 1. Геометрія моделі задачі

Для визначення струмів окремих ниток використаємо граничні умови на поверхні діелектричного циліндра для дотичних складових електричного й магнітного полів

$$E_{1\tau} = E_{2\tau}, \quad H_{1\tau} = H_{2\tau}. \quad (1)$$

Індекс 1 належить до середовища ззовні діелектричного циліндра, індекс 2 – до середовища діелектричного циліндра.

Такі умови забезпечуються у дискретних точках периметра діелектричного циліндра, що дозволяє укласти систему лінійних алгебраїчних рівнянь з невідомими струмами ниток. Згадана система рівнянь є неоднорідною, тому що враховує відоме поле випромінювання півхвильового вібратора. Для визначення впливу діелектричного тіла на вхідний імпеданс вібратора знаходимо напруженість електричного поля, дотичну до вібратора, враховуючи поле випромінювання як струмів ниток $I_1 \dots I_N$ – моделі зовнішнього поля дифракції, так і поле випромінювання струму I_0 у вібраторі А.

Відповідно до викладеного алгоритму запишемо дотичні до поверхні циліндра результуючі напруженості поля у дискретних точках його периметра, але залежні від координати довжини ниток:

$$E_{1\tau}(z) = \sum_{i=1}^N I_i \cdot e_i(z) + I_0 \cdot e_0(z),$$

$$H_{1\tau}(z) = \sum_{i=1}^N I_i \cdot h_i(z) + I_0 \cdot h_0(z),$$

$$E_{2_{\pi}}(z) = \sum_{i=1}^N I_{2_i} \cdot e_{2_i}(z), \quad (2)$$

$$H_{2_{\pi}}(z) = \sum_{i=1}^N I_{2_i} \cdot h_{2_i}(z).$$

Уведені вище функціональні множники $e_{1_i}(z)$ та $h_{1_i}(z)$ виникають при визначенні напруженості поля випромінювання струмами моделі $I_{1_1} \dots I_{1_N}$ розсіяного поля, створених внутрішніми нитками $\mathbf{B}_1 \dots \mathbf{B}_N$, а множники $e_{2_i}(z)$ та $h_{2_i}(z)$ струмами $I_{2_1} \dots I_{2_N}$ моделі заломленого поля створеного зовнішніми нитками $\mathbf{C}_1 \dots \mathbf{C}_N$. Множники $e_0(z)$ та $h_0(z)$ визначають поле випромінювання вібратора \mathbf{A} (рис.1). Крім цього нульова умова на поверхні провідника вібратора \mathbf{A} вимагає урахування напруженості поля, зумовленої джерелом живлення вібратора, яке у нашому випадку вважаємо дельта-генератором з напругою U , прикладеною до затискачів в точці $z=0$.

$$E = U \cdot \delta(z), \quad (3)$$

де $\delta(z)$ – дельта-функція дана в точці $z=0$.

Повздовжній розподіл струму у вібраторі \mathbf{A} запишемо за допомогою функції $i_0(z) = \sin(\beta_0(L - |z|))$ для основної просторової гармоніки струму на робочій частоті. Аналогічно виражаємо розподіл струму всіх ниток моделі:

$$i_1(z) = \sin(\beta_0(H - |z|)), \quad i_2(z) = \sin(\beta(H - |z|)). \quad (4)$$

Відповідно до методу Гальоркіна рівняння, необхідні для визначення невідомих струмів, формуємо на основі рівнянь (1) за допомогою скалярних добутків:

$$\begin{aligned} I_0 \langle e_0(z), i_1(z) \rangle + \sum_{i=1}^N I_{1_i} \langle e_{1_i}(z), i_1(z) \rangle - \sum_{i=1}^N I_{2_i} \langle e_{2_i}(z), i_1(z) \rangle &= 0, \\ I_0 \langle h_0(z), i_2(z) \rangle + \sum_{i=1}^N I_{1_i} \langle h_{1_i}(z), i_2(z) \rangle - \sum_{i=1}^N I_{2_i} \langle h_{2_i}(z), i_2(z) \rangle &= 0, \\ I_0 \langle e_{00}(z), i_0(z) \rangle + \sum_{i=1}^N I_{1_i} \langle e_{01_i}(z), i_0(z) \rangle + U \langle \delta(z), i_0(z) \rangle &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Функціональні множники e_0 , h_0 ; e_{1_i} , h_{1_i} та e_{2_i} , h_{2_i} у перших двох рівняннях системи (5) визначені у точках периметра діелектричного циліндра, де забезпечуються граничні умови (1). Залежність цих множників від координати z зникає у зв'язку з формуванням скалярних добутків. Функціональні множники в останньому рівнянні системи (5) визначені на поверхні тонкого провідника вібратора.

При моделюванні на ЕОМ досліджувався вплив діелектричного тіла циліндричної форми з відносною діелектричною проникністю $\epsilon=81$, радіусом $r=0,12\lambda$ та висотою $2H=0,38\lambda$ на вхідний імпеданс випромінювача, яким служив півхвильовий вібратор. Установлено, що для даного тіла число N , тобто кількість виділених ліній, вздовж яких забезпечується виконання граничних умов, повинна бути не меншою 12, оскільки починаючи з цієї величини, дальше збільшення їхньої кількості не впливає на результати розрахунку. Це означає, що крок між сусідніми лініями повинен становити $0,05\lambda - 0,06\lambda$, а порядок системи дорівнює 25.

Результати розрахунку активної та реактивної складової вхідного імпедансу, залежно від відстані R зображено на рис.2. При значному віддаленні тіла ці величини прямують до стандартного значення вхідного імпедансу півхвильового вібратора із синусоїдним розподілом струму.

Для перевірки методу були проведені експериментальні дослідження за допомогою панорамного вимірювача коефіцієнта стоячої хвилі (КСХ) РК2-47. Досліджувався вплив циліндричного тіла з $\epsilon=81$, радіусом $r=3,8$ см та висотою $2H=12$ см на півхвильовий вібратор на частоті 950 МГц, чим забезпечувалась відповідність теоретичної моделі і реального тіла. Як інформаційний параметр використовувалась зміна КСХ.

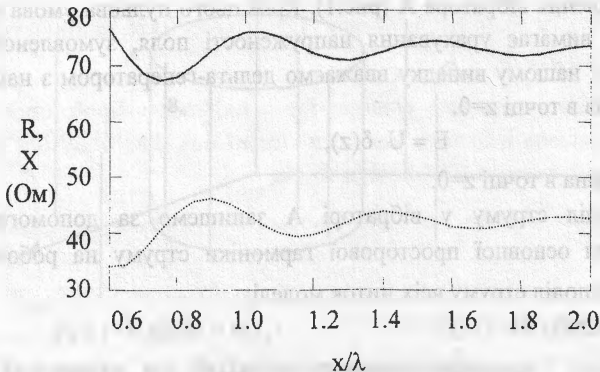


Рис. 2. Зміна вхідного імпедансу вібратора

На рис. 3. показана залежність зміни КСХ від відстані між тілом та вібратором. Суцільна лінія відображає результати розрахунку, квадратами відображено результати експерименту. Деякі розбіжності в кінці графіка пов'язані з проблемою вимірювань малих приростів КСХ.

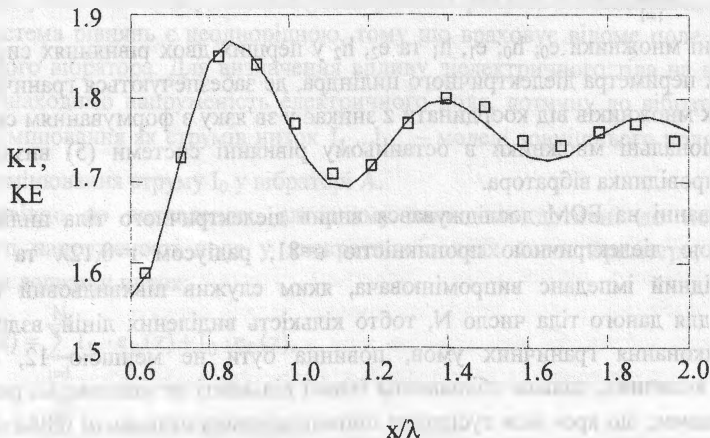


Рис. 3. Залежність зміни КСХ від відстані

Часто, при побудові давачів важливо знати відносну зміну котрогось із параметрів, оскільки ця зміна визначатиме його чутливість. Відносну зміну, тобто зміну відносно свого власного значення при відсутності збурення, показано на рис. 4., де суцільною лінією показано зміну КСХ, пунктирною – зміну модуля вхідного імпедансу вібратора, суцільною лінією з хрестиками – зміну реактивної складової вхідного імпедансу вібратора. Встановлено, що відносна зміна реактивної складової вхідного імпедансу є найбільшою по відношенню до інших параметрів, що досліджувались.

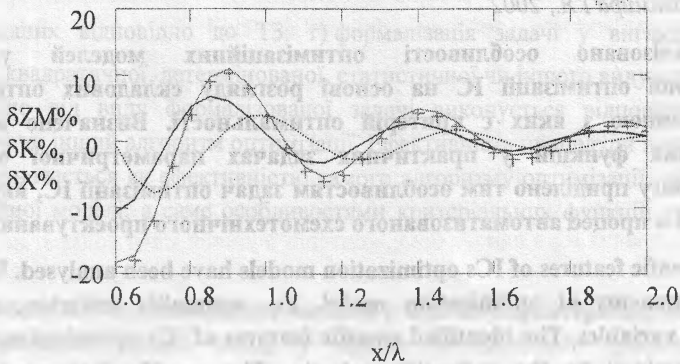


Рис. 4. Відносна зміна параметрів півхвильового вібратора

Отже, шляхом заміни діелектричного тіла системою ниток електричного струму, проведено розрахунок величини й характеру зміни параметрів півхвильового вібратора під його впливом. За рахунок відмови від дискретизації всього об'єму діелектрика, але при забезпеченні виконання граничних умов на його поверхні, спрощено аналіз, результати якого підтвержені експериментальними дослідженнями.

1. Ву Тако Эффективная площадь отражения тел вращения произвольной формы // ТИИЭР, май 1989, т.77, № 5, с.112-117. 2. Т.К. Саркар Эффективная площадь отражения составных проводящих диэлектрических тел с потерями // ТИИЭР, май 1989, т.77, № 5, с.167-175.