УДК 621.372.832
П'янков В.П.[1], Зіненко І.І.[2]
[1] канд. фіз.-мат. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»,
[2] асист. НУ «Запорізька політехніка»

ДИФРАКЦІЯ ХВИЛІ H_{10} НА Е-ПЛОЩИННОМУ З'ЄДНАННІ П'ЯТИ ХВИЛЕВОДІВ З КРУГОВОЮ ВСТАВКОЮ

Мета даної роботи – продемонструвати можливості строгого електродинамічного методу добутку областей (ДО) [1] для розрахунку некоординатних Е-площинних хвилеводних вузлів з круговими провідниковими вставками. В даному докладі представленні розрахунки характеристик Е-площинного з'єднання п'яти прямокутних хвилеводів з круговим циліндром у центрі з'єднувальної порожнини (рис. 1). Розраховані значення модулів та аргументів коефіцієнтів проходження та відбиття такого з'єднання для різних значень радіуса кругового циліндра.

В регулярній частині хвилеводів вводяться площини Т-Т для початкового відліку. По одному з хвилеводів до з'єднувальної порожнини набігає хвиля типу H_{10}, амплітуда та фаза якої відомі у площині Т-Т. Задача зводиться до знаходження компоненти u магнітного поля, яка перпендикулярна площині рис. 1. Границі з'єднувальної порожнини до площин Т-Т (більш жирна лінія) розіб'ємо на елементи S_i: відрізки та круговий циліндр.

Нехай I_H – множина номерів смуг Т-Т, які співпадають з номерами хвилеводів, I_P – множина номерів провідних смуг, I_C – номер кругового циліндра, $I_R = I_H \cup I_P$, $I = I_R \cup \{i_C\}$. Згідно метода добутку областей ком-

поненту u будемо шукати у вигляді $u(r) = \sum_{i \in I} u_i(r)$, де кожна функція $u_i(r)$ задовольняє однорідному рівнянню Гельмгольця, зовні свого *i*-го елемента.

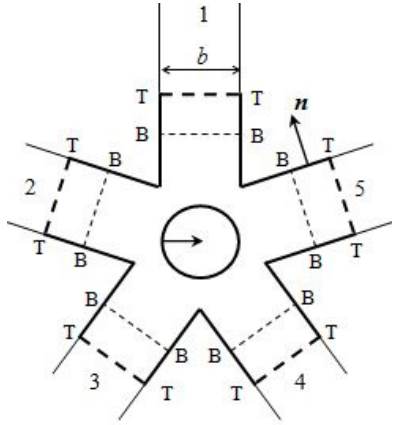

Рисунок 1 – Схема з'єднання хвилеводів.

Для функцій $u_i(r)$ виконуються наступні інтегральні рівності

$$u_i(r) = 2\left(\int_{S_i} \frac{\partial U_i(r')}{\partial \mathbf{n}'} G_i(r,r') dS' - W_i(r) \right) \quad \forall r \notin S_i,\ i \in I_H; \qquad (1)$$

$$u_i(r) = -2W_i(r) \quad \forall r \notin S_i,\ i \in I_P;\ u_i(r) = -W_i(r) \quad \forall r \notin S_i,\ i = i_C, \qquad (2)$$

де $U_i(r)$ – шукана компонента поля в регулярній частині *i*-го хвилевода, $W_i(r) = \int_{S_i} \sum_{j \in I \setminus \{i\}} \frac{\partial u_j(r')}{\partial \mathbf{n}'} G_i(r,r')\, dS'$, $\boldsymbol{n}$ – нормаль, яка спрямована згідно рис.1, $G_i(r,r')$ – функція Гріна, яка задовольняє однорідним граничним умовам Неймана на елементі S_i та записується у вигляді ряду по парним функціям Матьє для $i \in I_R$ і по функціям Ханкеля для $i = i_C$. Так як електромагнітне поле неперервне в однорідному середовищі, то

$$U_i(r) = \sum_{j \in I} u_j(r) \ \forall r \in \text{В-В} \ , \ i \in I_H \ , \qquad (3)$$

де В-В – площина, яка розташована в регулярній частині *i*-го хвилевода згідно рис. 1. Рівняння (1) – (3) утворюють систему інтегро-диференціальних рівнянь відносно функцій $U_i(r), i \in I_H$, та $u_i(r)$, $i \in I$. Функцію $U_i(r)$ шукаємо у вигляді розвинення по власним хвилям хвилевода, $u_i(r)$ – у вигляді розвинення по парним функціям Матьє для $i \in I_R$ та по функціям Ханкеля для $i = i_C$. В результаті отримаємо нескінченну систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно коефіцієнтів вказаних розвинень, яка може бути розв'язана методом редукції.

На рис. 2 показані графіки залежності модулів коефіцієнтів матриці розсіювання S_{ij} розглядуваного вузла від частотного параметра $\chi = bk/(2\pi)$, де $k = 2\pi\sqrt{\lambda^{-2} - (2a)^{-2}}$, a и b – розміри стінок хвилеводів, λ – довжина хвилі у вільному просторі, при різних радіусах R кругового циліндра. Прийнята наступна нумерація кривих: 1– $R = 0{,}1b$; 2– $R = 0{,}3b$; 3– $R = 0{,}5b$; 4– $R = 0{,}7b$. Пунктиром показані характеристики вузла без кругової вставки. Із графіків видно, що коефіцієнт відбиття $|S_{11}|$ та коефіцієнти проходження $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ практично не залежать від радіуса вставки при $R \le 0{,}1b$ (дивись пунктирні лінії та лінії 1) . Ця залежність посилюється з ростом R. При $R = 0{,}3b$ коефіцієнт відбиття зменшується в більшій частині робочого діапазону, а коефіцієнт передачі $|S_{21}|$ збільшується. При цьому коефіцієнт проходження $|S_{31}|$ значно менше на відрізку $0{,}2 < \chi < 0{,}5$, також його частотна характеристика близька к постійній за винятком проміжку $0{,}4 < \chi < 0{,}5$. При $R = 0{,}5b$ коефіцієнт передачі $|S_{21}|$ збільшується, а коефіцієнт проходження $|S_{31}|$ зменшується практично у всьому робочому діапазоні. Коефіцієнт відбиття $|S_{11}|$ збільшується на проміжку $0{,}3 < \chi < 0{,}5$. При $R = 0{,}7b$ коефіцієнт відбиття $|S_{11}|$ значно збільшується, коефіцієнти проходження $|S_{21}|$, $|S_{31}|$ зменшуються. Також треба відмітити, що в частотній точці $\chi = 0{,}1$ при $R \ge 0{,}5b$ відбуваються резонансні ефекти.

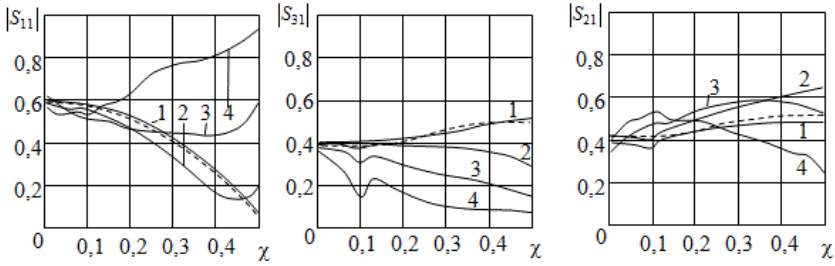

Рисунок 2 – Графіки залежності модулів коефіцієнтів матриці розсіювання від частотного параметра.

Результати представлені в даному докладі можуть бути використані при проектуванні мостових та багатоплечих з'єднань прямокутних хвилеводів в різноманітних радіотехнічних пристроях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Chumachenko V. P. Domain-product technique solution for the problem of electromagnetic scattering from multiangular composite cylinders / V. P. Chumachenko // IEEE Trans. Antennas Propagat. – 2003. – Vol. 51, №10. – P. 2845–2851.