

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ РАДІУСІВ ОТВОРІВ
БАГАТОЕЛЕМЕНТНОГО НАПРЯМЛЕНОГО ВІДГАЛУЖУВАЧА**

Зайченко Н.Я., Коломієць А.О.

Науковий керівник – к.т.н., доц. Зайченко О.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф.

МЕЕПП, каф.ПЕЕА, м. Харків, Україна

тел. +38(057) 702-14-94

This work is devoted to directional couplers parameter calculation and verification by simulation in HFSS. The contradiction between the results of previous calculations and modeling is the problem of this research. A simplified method is proposed for calculating the radii of the holes of a directional coupler, which consists in central hole radii calculating, on the basis of the parameter of required coupling, which differs by using the Newton binomial coefficient, so the radius of the current hole is calculated as the radius of the central hole which is divided by coefficient. The coefficient is the cube root of the of the binomial polynomial numbers ratio, where polynomial numbers correspond to central and current hole. The cube root of number is a value which when multiplied by itself thrice or three times produces the original value.

Одним з найбільш розповсюджених пристроїв НВЧ є напрямлений відгалужувач, призначений для відгалуження частини потужності з первинного тракту до вторинного. Конструктивно хвилеводний відгалужувач складається з двох хвилеводів з декількома отворами у загальній стінці первинного і вторинного хвилеводів. Кількість отворів визначається діапазоном частот. Направлені відгалужувачі характеризуються такими параметрами як перехідне загасання, розв'язка і направленість. Багатоелементні напрямлені відгалужувачі для діапазона частот можна класифікувати на напрямлені відгалужувачі з чебишевською та максимально пласкою біноміальною характеристикою. Останні є об'єктом даного дослідження. Проектування напрямлених відгалужувачів полягає в теоретичному розрахунку кількості отворів, діаметрів отворів, відстані між сусідніми отворами. Вихідними даними є переріз хвилеводу, діапазон частот, перехідне загасання. Методики такого розрахунку відомі [1, 2]. Порівняння двох підходів дозволяє виявити переваги і недоліки кожного з них. Перевага другої методики [2] використання спрощеного порівняно з [1] розрахунку, а недоліком є відсутність обґрунтування вибору кількості отворів в залежності від потрібного частотного діапазона.

Моделювання у програмі ANSYS HFSS дозволяє верифікувати розрахунки [3]. Під час моделювання складають тривимірну конструкцію напрямленого відгалужувача, задають збудження полів у хвилеводних портах та отримують результат у вигляді кольорового розподілу полів у вигляді малюнку. Різні кольори відповідають різним інтенсивностям

напруженостей полів Особливо наочним способом подання результатів є анімація. Критерії вірності під час моделювання за допомогою анімації такі чи відгалужується потужність до вторинного тракту, чи рухається хвиля у вторинному тракту у вірному напрямку. Моделювання у HFSS результатів розрахунку багатоеlementного напрямленого відгалужувача виявило неспівпадіння з результатами розрахунків, що складало проблему даного дослідження. Мета даного дослідження перегляд та спрощення методу розрахунку діаметрів отворів напрямленого відгалужувача.

Математичною моделлю отвору в хвилеводі є

$$F_n = K_f \cdot r^3,$$

де K_f – коефіцієнт, який залежить від критичної та середньої частоти хвилевода, від переріза хвилевода, від коефіцієнта згасання, хвильового опору, важливо що цей коефіцієнт є константою для всіх отворів в межах вихідних даних однієї задачі [2], r – радіус отвору, F_n – коефіцієнт пов'язаний з перехідним загасанням і коефіцієнтами бінома Ньютона.

Запропоновано спрощений метод розрахунку радіусів отворів напрямленого відгалужувача з біноміальною частотною характеристикою напрямленості, якій складається в розрахунку на базі потрібного перехідного загасання діаметра середнього отвору, який відрізняється тим, що радіус поточного отвору розраховується як радіус центрального отвору поділений на коефіцієнт. Цей коефіцієнт є кубічним коренем відношень коефіцієнтів у біномі Ньютона при додатках, які відповідають вищезгаданим середньому та поточному отворам.

Наприклад, для хвилеводу перерізом 23x10 мм два отвори мають радіуси 4,4 мм, три отвори мають радіуси 3,6; 4,4; 3,6 мм [3]. Розрахунок за запропонованою методикою показав співпадіння з загальновідомим. Розглянемо чотири отвори, нехай середній отвір має такий як і раніше радіус 4,4 мм. Коефіцієнти бінома Ньютона третього ступеня 1; 3; 3; 1,

складемо пропорцію $\frac{r_{\text{центр}}^3 - 3}{x^3 - 1}$, отже периферійні отвори мають радіуси –

$r_{\text{периф}} = x = r_{\text{центр}} / \sqrt[3]{3} = 4,4 / \sqrt[3]{3} = 3,07$, аналогічно для бінома четвертого ступеня коефіцієнти 1, 4, 6, 4, 1, тоді радіуси отворів 2,44; 3,85; 4,4; 3,85; 2,44. Моделювання підтвердило працездатність методу. Перспективу досліджень становить порівняння з радіусами отворів за методиками [1,2].

Список використаних джерел:

1. Фельдштейн, А. Л., Явич, Л. Р. (1971). Синтез четырехполосников и восьмиполосников на СВЧ. Связь, 1971. С. 387.
2. Nassiri, A. (2010). Power Dividers and Couplers/ Взято 20 січня 2022 з <https://uspas.fnal.gov/materials/10MIT/Lecture8.pdf>
3. Мительман, Ю. Е. (2012). Автоматизированное проектирование микроволновых устройств в HFSS. С.63.