

УДК 621.372.543

МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОСМУЖКОВОГО АНАЛОГА
ФОТОННОГО КРИСТАЛА

Назарько А.І., Тимофєєва Ю.Ф., Нелін Є.А., Іванов О.М.

Розглянуто порівняльне моделювання мікросмужкового аналога фотонного кристала імпедансним методом, методом Олінера та методом скінчених інтегралів. Наведено характеристики, що ілюструють взаємну відповідність результатів моделювання.

Вступ

Інтенсивний розвиток нанотехнологій і розробка оптичних пристроїв зумовили появу нового класу впорядкованих структур, що отримали назву «фотонні кристали» (ФК). ФК — періодично неоднорідні структури, період яких сумірний з довжиною хвилі. Такі структури мають зонні властивості, аналогічні кристалам, що визначає можливість їх застосування в різноманітних пристроях обробки сигналів.

Для фізичного моделювання ФК оптичного діапазону використовують більш прості в конструктивно-технологічному відношенні мікросмужкові аналоги. Аналоги дозволяють виявити принципові особливості конструкцій ФК для їх реалізації масштабуванням в оптичному діапазоні.

Постановка задачі

Найбільш досконалі моделі електромагнітних структур базуються на тривимірному електромагнітному моделюванні. Одна з найрозвиненіших систем такого моделювання — програмний пакет *Microwave Studio (MWS)*. Особливості використання *MWS* при моделюванні кристалоподібних структур розглянуто в [1]. При такому моделюванні втрачається наочність зв'язку між особливостями конструкції та її характеристиками, яку мають більш прості моделі — імпедансний метод та метод Олінера. Значний інтерес становить можливість використання простих моделей на перших етапах проектування ФК. Для встановлення такої можливості в роботі розглянуто порівняльне моделювання ФК з використанням цих моделей.

Мікросмужковий аналог ФК

Мікросмужковий аналог ФК зображено на рис. 1. Ширина мікросмужки періодично змінюється, довжина відрізків однакова. Широкі і вузькі відрізки мають низький і високий хвильові опори. Така конструкція аналогічна ФК, утвореному шарами однакової товщини з відношенням показників заломлення, що дорівнює відношенню хвильових опорів відрізків.

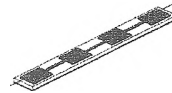


Рис. 1

Імпедансний метод і метод Олінера

В імпедансному методі враховуються лише хвильові опори відрізків. В квазістатичному наближенні частотну залежність хвильового опору мікро-

смушкової лінії не враховують [2]. Мікросмушкова лінія моделюється неоднорідною лінією передачі. Розрахунок характеристик такої лінії виконується рекурентним використанням формули для вхідного імпедансу кожного її відрізка.

В методі Олінера мікросмушкова лінія моделюється еквівалентним прямокутним хвилеводом [3]. Цей метод враховує реактивність на межі між широким та вузьким відрізками мікросмушкової лінії.

Моделювання мікросмушкового аналога

На відміну від більшості методів, побудованих на вирішенні рівнянь Максвелла в диференціальній формі, в середовищі *MWS* використано метод скінченних інтегралів для інтегральної форми рівнянь. Розв'язок рівнянь виконується в обмеженій просторовій області, яка за допомогою сітки розбивається на комірки. В цій сітці визначається ще одна сітка, ортогональна першій. Рівняння Максвелла вирішуються на двох сітках. При моделюванні використано модуль розв'язку в часовій області як більш гнучкий, здатний визначати характеристики у всій частотній області. Для найбільшої ефективності застосовано прямокутну сітку з кроком одна тридцята довжини хвилі.

На рис. 2 зображено модель мікросмушкового аналога в середовищі *MWS*. Хвильовий опір крайніх відрізків дорівнює 50 Ом. По краях моделі розташовано два порти, через один з яких структура збуджується модельним широкосмуговим сигналом.

На рис. 3 наведено характеристики коефіцієнта відбиття мікросмушкового аналога, розраховані трьома методами. Параметри структури відповідають [4]. Характеристика 1 співпадає з наведеною в [4], розрахованою в середовищі *Microwave Office*.

На рис. 4 наведено характеристики коефіцієнта проходження. Структура формує три смуги пропускання та три

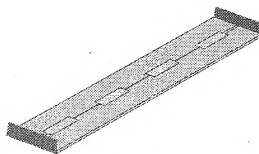


Рис. 2

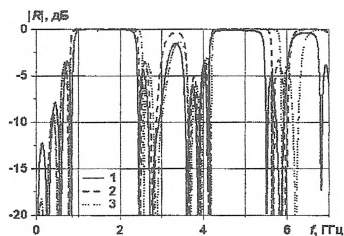


Рис. 3. Частотні залежності коефіцієнта відбиття аналога
1 - *MWS*; 2 - метод Олінера;
3 - імпедансний метод

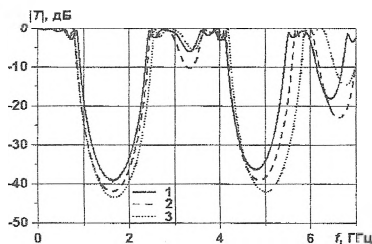


Рис. 4. Частотні залежності коефіцієнта проходження аналога
1 — *MWS*; 2 — метод Олінера;
3 — імпедансний метод

смуги подавлення, що відповідають дозволеним і забороненим зонам ФК. Характеристики мають добру взаємну відповідність, особливо для нижніх зон. Як і очікувалося, більше співпадають результати за методом Олінера і *MWS*. Зонні властивості ФК покращуються зі збільшенням відношення показників заломлення або відношення хвильових опорів мікросмужкового аналога. Це досягається введенням додаткових неоднорідностей, характерних для кристалоподібних структур. Такими неоднорідностями можуть бути круглі отвори, витравлені в нижньому металевому покритті мікросмужкової лінії під її вузькими відрізками. Для подальшого збільшення хвильового опору необхідно виконати отвори і в діелектрику. Моделювання таких неоднорідностей можливе лише в *MWS*. За результатами моделювання в *MWS* можна встановити відношення еквівалентних імпедансів різнорідних областей для його використання в імпедансній моделі або в моделі Олінера.

Висновки

Імпедансна модель та модель Олінера дозволяють проаналізувати основні особливості характеристик ФК, що свідчить про доцільність їх використання на перших етапах проектування. Ці моделі доповнюють складні тривимірні, дають наочний зв'язок між структурою та її характеристиками, дозволяють виконати перевірку результатів моделювання.

Література

1. Бойко В.О., Березянський Б.М., Нелін Є.А. Моделювання тривимірних кристалоподібних структур // Вісн. НТУУ «КПІ». Серія — Радіотехніка. Радіоапаратобудування. 2007. Вип. 35. С. 106—110.
2. Гвоздев В. И., Нефедов Е.И. Объемные интегральные схемы СВЧ. М.: Наука. 1985. 256 с.
3. Нефедов Е.И., Фиалковский А.Т. Полосковые линии передачи. — М.: Наука. 1980. 312 с.
4. Беляев Б.А., Волошин А.С., Шабанов В.Ф. Исследование микрополосковых аналогов полосно-пропускающих фильтров на одномерных фотонных кристаллах // Радиотехника и электроника. 2006. Т. 51. №6. С. 694—701.

Ключові слова: фотонний кристал, метод Олінера, імпедансний метод аналізу	
Назарько А.И., Тимофеев Ю.Ф., Нелин Е.А., Иванов А.М.	Nazarko A.I., Timofeev J.F., Nelin E.A., Ivanov O.M.
Моделювання мікрополоскового аналога фотонного кристалла	Modeling of microstrip analogue of a photon crystal
Рассмотрено сравнительное моделирование микрополоскового аналога фотонного кристалла импедансным методом, методом Олинера и методом конечных интегралов. Приведены характеристики, которые показывают взаимное соответствие результатов.	The comparative modeling of microstrip analogue of a photon crystal by an impedance method, Oliner's method and method of final integrals is considered. The characteristics which show mutual conformity of results are given.