

ТРИВИМІРНІ МІКРОМУЖКОВІ ШЛЕЙФИ ТА ФІЛЬТР НА ЇХНІЙ ОСНОВІ

Автори Первак Є. О., Первак С. Г.

(науковий керівник — д. т. н., проф. Нелін Є. А.)

Під час проектування нових мікросмушкових пристроїв використовують нові технологічні рішення та матеріали, які дають змогу суттєво зменшити габарити пристроїв та підвищити вибірковість [1]. Розглянемо використання у фільтрах нижніх частот (ФНЧ) тривимірних (3D) неоднорідностей.

ФНЧ призначені для пропускання сигналів у смузі частот від нуля до граничної частоти f_c та подавлення сигналів із частотами вище граничної. На рис. 1 зображено схему ФНЧ п'ятого порядку. Параметри фільтра:

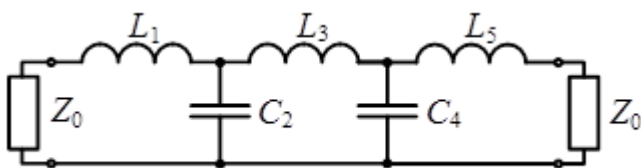


Рисунок 1. Схема ФНЧ

характеристика Чебишова, $f_c = 2$ ГГц, пульсації в смузі пропускання 0,1 дБ, $Z_0 = 50$ Ом.

На рис. 2 наведено конструкції ФНЧ 1 (а) та ФНЧ 2 (б) зі збереженням масштабу. Довжини ФНЧ 1 та ФНЧ 2 з урахуванням зовнішніх мікросмушкових секцій

дорівнюють 34,4 мм та 27,4 мм відповідно. У ФНЧ 1 квазізосереджені ємності

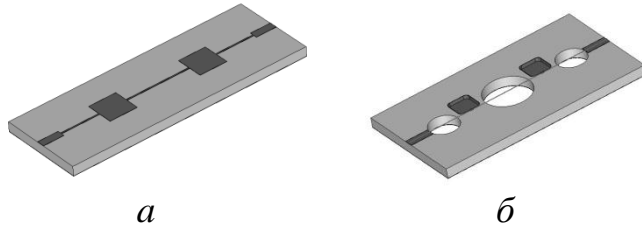


Рисунок 2. Конструкції ФНЧ1 (а) і ФНЧ2 (б)

та індуктивності реалізовано мікросмушковими секціями з вузькими та широкими відрізками провідника відповідно з високим та низьким хвильовим імпедансом. У ФНЧ 2 реактивні елементи реалізовано 3D-

неоднорідностями: індуктивність — наскрізним отвором із нависним провідником, ємність — розімкнутим шлейфом на основі глухого квадратного металізованого отвору з заокругленими кутами.

Розглянемо особливості амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) 3D-шлейфа. Довжина шлейфа $l_{ш}$ має задовольняти умові $l_{ш} < \lambda/4$, де λ — довжина хвилі. На рис. 3 а зображено конструкцію шлейфа. На рис. 3 б наведено еквівалентну схему мікросмушкового Т-з'єднання шлейфа з основною лінією [2], причому згідно [2] $L_{1,2} < 0$. Оскільки значення $|L_1|$ набагато менше порівнюючи з індуктивностями фільтра, то індуктивностями L_1 можна знехтувати. Індуктивність L_2 та шлейф утворюють послідовний контур, резонансу якого відповідає частота режекції АЧХ шлейфа. Індуктивність L_2 зміщує частоту режекції, яка без її врахування визначається умовою $l_{ш} = \lambda/4$.

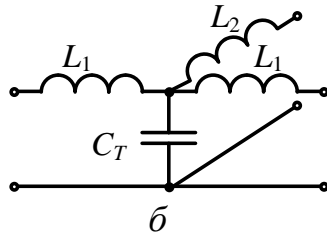
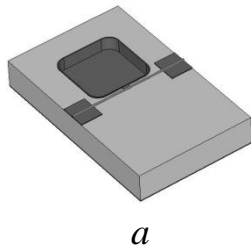


Рисунок 3. Конструкція шлейфа (а) та еквівалентна схема мікросмужкового Т-з'єднання (б):
 $L_{1,2}$, C_T — еквівалентні елементи

Конструктивні параметри шлейфа: отвір квадратної форми зі стороною 2,9 мм, радіус заокруглення кутів 0,5 мм, глибина отвору $t = 0,52$ мм. Шлейф з'єднано з лінією майданчиком розмірами 0,2 x 0,5 мм, де перший розмір — відстань між шлейфом та лінією. Матеріал основи Rogers

RO3010, товщина діелектрика 1,27 мм, відносна діелектрична проникність 10,2.

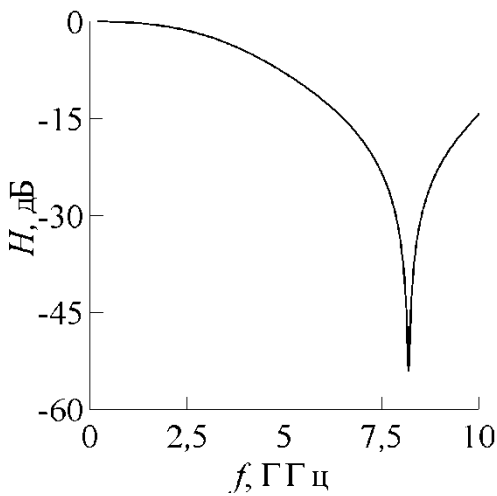


Рисунок 4. АЧХ шлейфа

Рис. 4 ілюструє АЧХ шлейфа. Наведені в доповіді характеристики розраховано в програмному пакеті тривимірного моделювання CST Microwave Studio. Частота режекції $f_p = 8,27$ ГГц, рівень режекції $-54,4$ дБ.

У [2] наведено емпіричну формулу для розрахунку значення індуктивності L_2 , однак розміри Т-з'єднання, що розглядається, поза межами її застосування. Зважаючи на умову резонансу шлейфа та індуктивності L_2 , маємо

$$L_2 = \frac{Z_{\text{ш}}}{2\pi f_p \operatorname{tg}(k_p l_{\text{ш}})}, \quad (1)$$

де $Z_{\text{ш}}$ — еквівалентний хвильовий імпеданс шлейфа; k_p — хвильове число на частоті f_p .

Значення $Z_{\text{ш}}$ та еквівалентної відносної діелектричної проникності шлейфа $\epsilon_{\text{ш}}$ розрахуємо згідно з формулами [3]:

$$Z_C = \frac{1 - \sqrt{1 - H_{\text{мін}}^2}}{H_{\text{мін}}} Z_0, \quad \epsilon_{\text{ш}} = \left(\frac{c}{4f_{\text{мін}} l_{\text{ш}}} \right)^2, \quad (2)$$

де $H_{\text{мін}}$ та $f_{\text{мін}}$ — рівень (у відносних величинах) та частота мінімуму АЧХ 3D-неоднорідності шлейфа, включеної як секції мікросмужкової лінії; c — швидкість світла у вакуумі. У заданому випадку $H_{\text{мін}} = -2,94$ дБ ($H_{\text{мін}} = 0,71$) та $f_{\text{мін}} = 8,07$ ГГц. Згідно з формулою (2) маємо $Z_{\text{ш}} = 21,0$ Ом та $\epsilon_{\text{ш}} = 10,27$, а згідно формули (1) отримаємо $L_2 = -0,016$ нГн. Частота $f_{\text{мін}}$ дорівнює частоті режекції без врахування індуктивності L_2 . Оскільки $L_2 < 0$, частота режекції зміщена вправо.

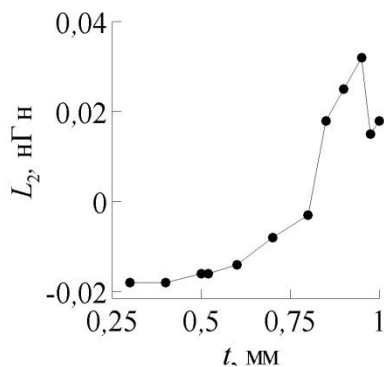


Рисунок 5. Залежність індуктивності L_2 від глибини отвору

ФНЧ 1, ФНЧ 2 та ФНЧ на зосереджених елементах. ФНЧ 2 має набагато кращу вибірковість порівнюючи з ФНЧ 1. Значення H_{\min} та f_{\min} ФНЧ 1 та ФНЧ 2 дорівнюють $-18,9$ та $-52,5$ дБ, $4,51$ та $8,67$ ГГц відповідно. АЧХ ФНЧ 2 значно ближча до АЧХ фільтра на зосереджених елементах. Розширення смуги подавлення АЧХ ФНЧ 2 зумовлене меншими розмірами 3D квазізосереджених реактивних елементів, а значне зменшенням рівня сигналу в смузі подавлення набагато більш високими хвильовими імпедансами індуктивних елементів.

На рис. 5 розглянуто залежність індуктивності L_2 від глибини отвору. Як бачимо, значення L_2 можуть бути як від’ємними, так і додатними, на відміну від [2], де ці значення лише від’ємні.

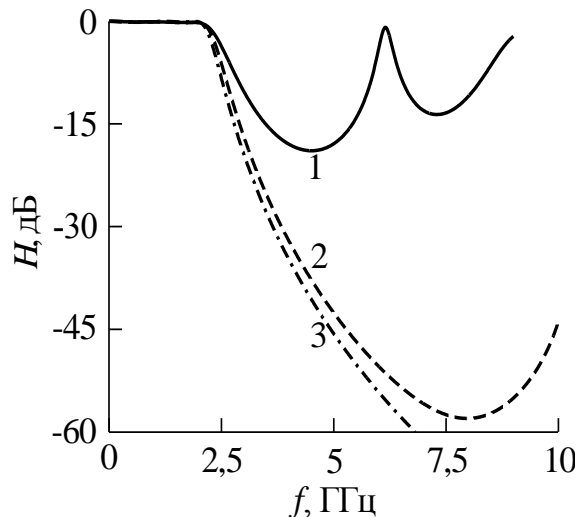


Рисунок 6. АЧХ ФНЧ 1 (1), ФНЧ 2 (2) та ФНЧ на зосереджених елементах (3)

На рис. 6 наведено АЧХ

Перелік посилань

1. Hong J.-S. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications / J.-S. Hong. — N. Y.: Wiley, 2011. — 656 p.
2. Garg R. Microstrip Lines and Slotlines / R. Garg, I. Bahl, M. Bozzi. — 3rd ed. — Boston, London: Artech House, 2013. — 590 p.
3. Биденко П. С. Квазисосредоточенные реактивные элементы на основе кристаллоподобных неоднородностей / П. С. Биденко, Е. А. Нелин, А. И. Назарько, Ю. Ф. Адаменко // Известия вузов. Радиоэлектроника. — 2015. — Т. 58, № 11. — С. 49–55.

Анотація

Розглянуто конструкцію тривимірного розімкнутого шлейфа та фільтра на його основі. Виконано порівняння характеристик традиційного фільтра та фільтра на основі тривимірних шлейфів.

Ключові слова: тривимірні неоднорідності, шлейфи, фільтри.

Abstract

The design of a three-dimensional open-circuited stub and a filter on its basis are considered. A comparison of the characteristics of a traditional filter and filter based on three-dimensional stubs is performed.

Key words: three-dimensional inhomogeneities, stubs, filters.