

НИЗЬКОЧАСТОТНИЙ ФІЛЬТР НА ОСНОВІ КРИСТАЛОПОДІБНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ

Зінгер Я. Л.; Попсуй В. І.; Нелін Є. А., д.т.н., проф.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

В радіоелектронних системах різного призначення широко застосовують мікросмужкові пристрої. Останнім часом в мікросмужковій техніці склалися напрямки на основі нових технологічних рішень і матеріалів, що дозволяють істотно зменшити габарити пристроїв і підвищити їх вибірність [1]. Один з цих напрямків — штучні структури з особливими характеристиками [1, 2]. До таких структур відносять кристалоподібні структури з зонними властивостями, аналогічними кристалам [2].

У мікросмужкових пристроях застосовують мікросмужкові кристалоподібні структури — електромагнітні кристали (ЕК), а також окремі ЕК-неоднорідності. Традиційні ЕК-неоднорідності виконують двовимірними у вигляді отвору або щілини різної форми в металізованій поверхні або в сигнальному провіднику [1, 3]. Тривимірні ЕК-неоднорідності [4] мають суттєво більшу ефективність, що визначається еквівалентним хвильовим імпедансом. В [4] запропоновано використання таких неоднорідностей як квазісосереджених реактивних елементів зі збільшенням значень реактивностей в 1,5...4 рази у порівнянні з традиційними структурами.

У доповіді досліджено низькочастотний фільтр на основі тривимірних ЕК-неоднорідностей як квазісосереджених реактивних елементів у порівнянні з традиційним фільтром.

Традиційні мікросмужкові квазісосереджені ємність і індуктивність реалізують широким і вузьким відрізками сигнального провідника відпо-

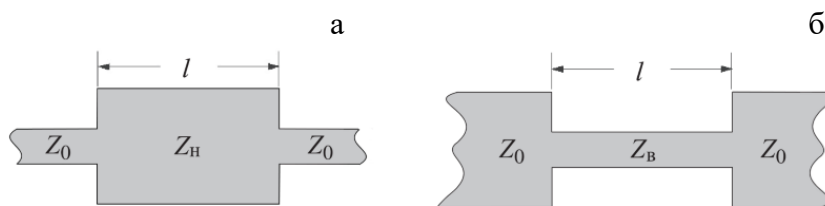


Рисунок 1. Традиційні мікросмужкові квазісосереджені ємність (а) і індуктивність (б); l — довжина елемента.

відно з низьким Z_H і високим Z_B імпедансами при номінальному імпедансі Z_0 (рис. 1) [1].

Імпеданси Z_H і Z_B , а також довжи-

на l задовольняють умовам

$$Z_H \ll Z_0 \quad \text{і} \quad Z_B \gg Z_0, \quad (1)$$

$$l < \lambda / 8, \quad (2)$$

де λ — довжина хвилі. Ємність і індуктивність визначаються формулами

$$C \approx \frac{l}{Z_H v}, \quad L \approx \frac{Z_B l}{v}, \quad (3)$$

де v — фазова швидкість хвилі.

На рис. 2 показано тривимірні ЕК-неоднорідності. Низькоімпедансна неоднорідність утворена ненаскрізним металізованим отвором з боку сигнального провідника, а високоімпедансна — наскрізним отвором у діелектрику з навісним провідником малого діаметра над ним.

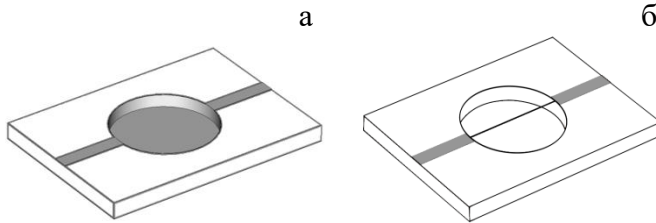


Рисунок 2. Низько- (а) та високоімпедансна (б) тривимірні ЕК-неоднорідності.

$Z_0 = 50$ Ом. Діапазон значень Z тривимірних ЕК-неоднорідностей — 4...400 Ом [4].

Як бачимо, для мікросмушкових структур умови (1) виконуються нестрого. Строгість цих умов зростає при розширенні діапазону імпедансів. Як видно з формул (3), при цьому збільшуються досяжні значення ємності й індуктивності.

Умова (2) визначає граничну частоту для квазісосереджених елементів. При заданих значеннях C і L розширення діапазону імпедансів дозволяє зменшити значення l . Внаслідок цього зменшуються розміри елемента і збільшується гранична частота. Таким чином, при використанні тривимірних ЕК-неоднорідностей як реактивних елементів НЧ фільтра мають зменшитися розміри і розширитися смуга подавлення.

Порівняємо конструкції і характеристики НЧ фільтрів, виконаних на основі традиційних структур (на прикладі фільтра з [1]) і тривимірних ЕК-неоднорідностей.

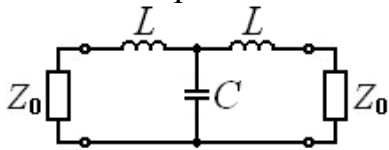


Рисунок 3. НЧ фільтр.

На рис. 3 приведено схему фільтра. Параметри фільтра: гранична частота смуги пропускання 1 ГГц, пульсації у смугі пропускання 0,1 дБ, $Z_0 = 50$ Ом, характеристика Чебишова, $L = 8,209$ нГн, $C = 3,652$ пФ.

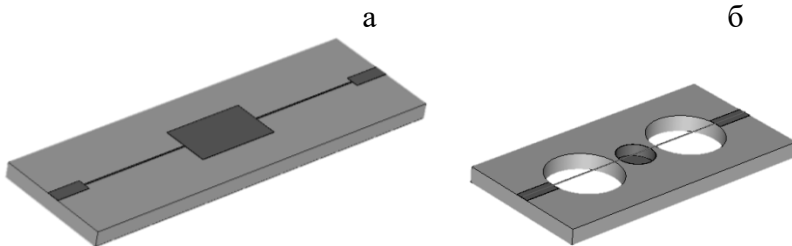


Рисунок 4. Конструкції фільтрів на основі традиційних структур (а) і тривимірних ЕК-неоднорідностей (б).

Рис. 4 ілюструє конструкції фільтрів зі збереженням відносних розмірів. Довжини фільтрів дорівнюють 32,73 і 23 мм. Матеріал основи — Rogers RO3010, товщина $h = 1,28$ мм, відносна діелектрична проникність $\epsilon = 10,2$,

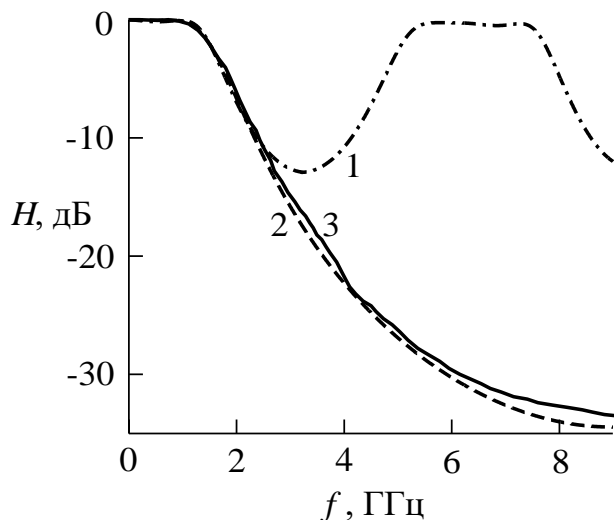


Рисунок 5. Розрахункові (1, 2) та експериментальна (3) амплітудно-частотні характеристики фільтрів на основі традиційних структур (1) і тривимірних ЕК-неоднорідностей (2, 3).

тангенс кута діелектричних втрат 0,0023 на частоті 10 ГГц, товщина металізації 0,035 мм.

На рис. 5 приведено амплітудно-частотні характеристики фільтрів на основі традиційних структур і тривимірних ЕК-неоднорідностей. Моделювання виконано в програмному пакеті тривимірного електромагнітного моделювання CST Microwave Studio.

У фільтрі на основі тривимірних ЕК-неоднорідностей смуга подавлення значно ширша, а розміри на 42% менші.

Перелік посилань

1. Hong J.-S. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications / J.-S. Hong. — N. Y.: Wiley, 2011. — 656 p.
2. Markos P. Wave propagation from electrons to photonic crystals and left-handed materials / P. Markos, C. M. Soukoulis. — Princeton and Oxford: Princeton University Press, 2008. — 352 p.
3. Bhuiyan M. S. Defected ground structures for microwave applications. Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering / M. S. Bhuiyan, N. C. Karmakar. — N. Y.: Wiley, 2014. — P. 1–31.
4. 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. — № 11. — С. 49–55.

Анотація

Запропоновано низькочастотний фільтр на основі тривимірних електромагнітно-кристалічних неоднорідностей. Виконано порівняння конструкцій і характеристик запропонованого і традиційного фільтрів.

Ключові слова: електромагнітний кристал, низькочастотний фільтр.

Аннотация

Предложен низкочастотный фильтр на основе трехмерных электромагнитнокристаллических неоднородностей. Выполнено сравнение конструкций и характеристик предложенного и традиционного фильтров.

Ключевые слова: электромагнитный кристалл, низкочастотный фильтр.

Abstract

A low-pass filter based on three-dimensional electromagnetic crystals inhomogeneities is proposed. Comparisons of the structures and characteristics of the proposed and traditional filters are fulfilled.

Keywords: electromagnetic crystal, low-pass filter.