

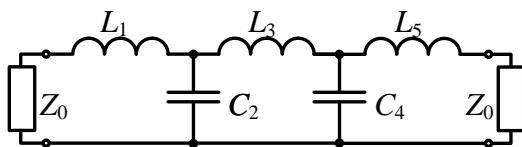
ФІЛЬТР НИЖНІХ ЧАСТОТ П'ЯТОГО ПОРЯДКУ НА ОСНОВІ КРИСТАЛОПОДІБНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ

Зінгер Я. Л., аспірантка; Нелін Є. А., д.т.н., професор
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Традиційні мікросмушкові фільтри нижніх частот (ФНЧ) конструюють на основі квазісосереджених реактивних елементів у вигляді різноімпедансних секцій мікросмушкової лінії та шлейфів. Для нових конструкцій фільтрів досліджують двовимірні електромагнітнокристалічні неоднорідності (ЕКН) у вигляді отвору або щілини різної форми в металізованій поверхні або в сигнальному провіднику [1, 2]. Тривимірні ЕКН у вигляді тривимірних неоднорідностей в основі мікросмушкової лінії мають суттєво більшу ефективність, що визначається еквівалентним хвильовим імпедансом. Використання таких неоднорідностей як квазісосереджених реактивних елементів у ФНЧ третього порядку дозволило значно покращити характеристики фільтра [3].

У представлений доповіді виконано проектування та порівняння конструкцій і характеристик ФНЧ п'ятого порядку — традиційного та на основі тривимірних ЕКН.

На рис. 1 наведено схему фільтра. Параметри фільтра: частота зрізу $f_c = 2$ ГГц, рівень пульсацій у смузі пропускання 0,1 дБ, характеристика Чебишова, $Z_0 = 50$ Ом. Значення індуктивностей та ємностей розраховуються згідно з формулами [1]:



$$L_i = \frac{Z_0 g_i}{\omega_c},$$

$$C_i = \frac{g_i}{Z_0 \omega_c},$$

Рисунок 1. ФНЧ п'ятого порядку.

де $\omega_c = 2\pi f_c$; значення $g_i, i = 1 \dots 5$, визначаються типом характеристики та рівнем пульсацій. У даному

випадку $g_1 = g_5 = 1,1468$, $g_2 = g_4 = 1,3712$ та $g_3 = 1,9750$.

Матеріал основи — *Rogers RO3010*, відносна діелектрична проникність $\epsilon = 10,2$, тангенс кута діелектричних втрат 0,0023 на частоті 10 ГГц, товщина діелектрика $h = 1,27$ мм, товщина металізації 0,035 мм.

Параметри ФНЧ на основі традиційних різноімпедансних секцій мікросмушкової лінії: ширина мікросмушкового провідника $w_L = 0,2$ мм, $w_C = 4$ мм, хвильовий імпеданс $Z_L = 93$ Ом, $Z_C = 24$ Ом, де індекси «L» та «C» відповідають індуктивності та ємності.

Довжини секцій визначаються формулами [1]

$$l_L = \frac{\lambda_{gL}}{2\pi} \arcsin\left(\frac{\omega_c L}{Z_L}\right), \quad l_C = \frac{\lambda_{gC}}{2\pi} \arcsin(\omega_c CZ_C), \quad (1)$$

де λ_g — довжина хвилі на частоті f_c , $\lambda_g = c / f_c \sqrt{\varepsilon}$, c — швидкість світла у вакуумі, ε — відносна діелектрична проникність. Значення ε дорівнюють

$$\varepsilon_L = \varepsilon_+ + \varepsilon_- ((1 + 12x^{-1})^{-0,5} + 0,04(1 - x)^2), \quad \varepsilon_C = \varepsilon_+ + \varepsilon_- (1 + 12x^{-1})^{-0,5},$$

де $\varepsilon_{\pm} = (\varepsilon \pm 1)/2$; $x = w/h$.

Значення довжин згідно (1) необхідно скорегувати з урахуванням впливу ємностей у П-подібній ланці та індуктивностей у Т-подібній, які не враховуються в моделях квазізосереджених елементів і, відповідно, у формулах (1) [1]. Результати розрахунків до й після корекції наведено в табл. 1.

У фільтрі на основі тривимірних ЕКН індуктивну ЕКН виконано наскрізним отвором у діелектрику з нависним провідником діаметром 0,1 мм над ним, а ємнісну — глухим металізованим отвором квадратної форми з

заокругленнями 0,5 мм та глибиною 0,6 мм, виконаним з боку сигнального провідника. Параметри індуктивних ЕКН отримано з залежностей [4], а параметри ємнісної ЕКН — за результатами моделювання в програмному пакеті тривимірного електромагнітного моделювання *CST Microwave Studio*. У табл. 2 наведено параметри фільтра, d — діаметр круглого отвору або довжина сторони квадратного отвору.

Рис. 2 ілюструє конструкції ФНЧ зі збереженням відносних розмірів. Відстань між індуктивними та ємнісними ЕКН — 0,5 мм. Довжини фільтрів дорівнюють 34,4 та 27,4 мм з урахуванням зовнішніх відрізків мікросмушкового провідника завдовжки 3 мм.

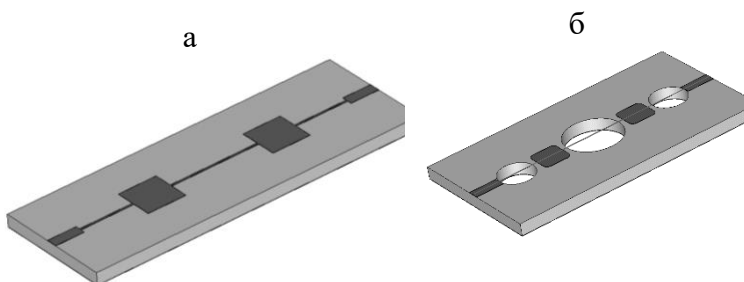


Рисунок 2. Конструкції ФНЧ п'ятого порядку: традиційного (а) та на основі тривимірних ЕКН (б).

Microwave Studio. Для обох фільтрів отримано частоту зрізу $f_c = 2$ ГГц, пульсації в смузі пропускання 0,1 дБ зі спадом характеристики до 0,2 дБ (див.

Таблиця 1

i	до корекції		після корекції	
	L, нГн, C, пФ	l _L , с, мм	l _L , с, мм	L, нГн, C, пФ
1, 5	4,56	6,34	5,60	4,12
2, 4	2,18	6,18	3,96	1,47
3	7,86	11,84	9,26	6,11

Таблиця 2

i	d _{L, C} , мм	Z _{L, C} , Ом
1, 5	3,8	170
2, 4	2,9	19
3	6,0	240

На рис. 3 наведено амплітудно-частотні характеристики фільтрів. Моделювання виконано в програмному пакеті *CST*

врізку на рис. 3).

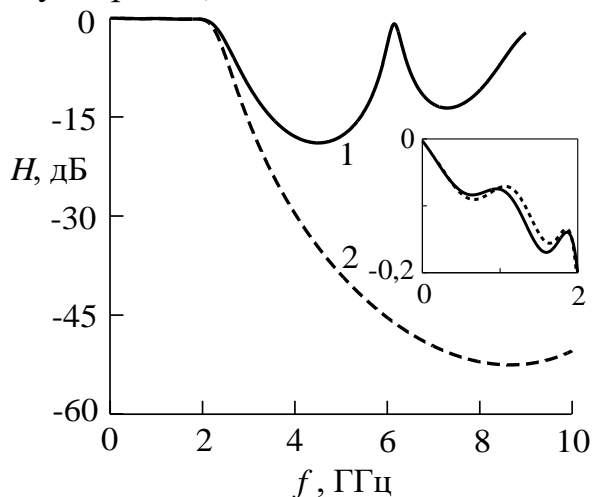


Рисунок 3. Амплітудно-частотні характеристики ФНЧ: традиційного (1) та на основі ЕКН

відповідно. Розміри фільтра на основі ЕКН на 20 % менші.

Фільтр на основі ЕКН має значно кращу вибірність у порівнянні з традиційним фільтром. Розширення смуги подавлення зумовлене меншими розмірами квазісосереджених реактивних елементів, а значне зменшення рівня в смузі подавлення суттєво більшими й меншим хвильовими імпедансами індуктивних та ємнісних ЕКН. Частоти й мінімуми характеристик 1 та 2 дорівнюють 4,5 і 8,7 ГГц та $-18,9$ і $-52,5$ дБ

Перелік посилань

1. Hong J.-S. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications / J.-S. Hong. — N. Y.: Wiley, 2011. — 656 p.
2. 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.
3. Nelin E. Microwave Filter Based on Crystal-like Reactive Elements / E. Nelin, Y. Zinher // Перша науково-технічна конференція "РадіоЕлектроніка та ІнфоКомунікації", Україна, Київ, 11 – 16 вересня 2016 р. – 4 с.
4. Биденко П. С. Квазісосередоточенные 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

Спроектовано низькочастотний фільтр п'ятого порядку на основі тривимірних електромагнітнокристалічних неоднорідностей. Виконано порівняння конструкцій та характеристик традиційного й запропонованого фільтрів.

Ключові слова: електромагнітнокристалічна неоднорідність, низькочастотний фільтр.

Аннотация

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

Ключевые слова: электромагнитнокристаллическая неоднородность, низкочастотный фильтр.

Abstract

The fifth order low-pass filter based on three-dimensional electromagnetocrystalline inhomogeneities is designed. Comparisons of the structures and characteristics of the traditional and proposed filters are fulfilled.

Keywords: electromagnetocrystalline inhomogeneity, low-pass filter.