

ПОРІВНЯННЯ КВАЗІСОСЕРЕДЖЕНИХ ЄМНОСТЕЙ  
НА ОСНОВІ СЕКЦІЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ТА ШЛЕЙФА

Герус А. М., магістрантка; Проскученко Р. С., магістрант;

Нелін Є. А., д.т.н., професор

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Квазісосереджені ємності широко застосовують в радіоелектронних пристроях, зокрема в мікросмужкових фільтрах [1]. Квазісосереджену ємність реалізують низькоімпедансною секцією лінії передачі або розімкнутим шлейфом. На рис. 1 наведено схему фільтра нижніх частот (ФНЧ), а також мікросмужкові ФНЧ з квазісосередженими ємностями вказаних варіантів. Секції з вузьким мікросмужковим провідником відповідають квазісосередженим індуктивностям.

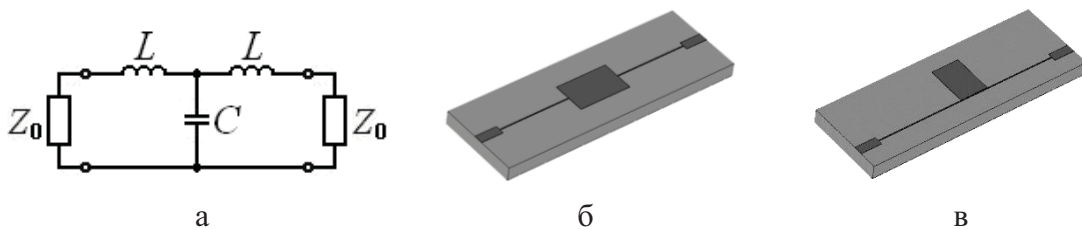


Рисунок 1. Схема ФНЧ третього порядку (а),  $L$  та  $C$  — індуктивності та ємність,  $Z_0$  — хвильовий імпеданс лінії; мікросмужкові ФНЧ (б, в), квазісосереджена ємність — секція з широким мікросмужковим провідником (б), розімкнутий шлейф (в).

У представлений доповіді виконано порівняння характеристик квазісосереджених ємностей на основі секції лінії передачі та шлейфа.

Розглянемо моделі секції лінії передачі та розімкнутого шлейфа, виходячи з моделі довгої лінії (ДЛ) без втрат. Для спрощення перетворень хвильові та вхідні імпеданси нормовано до хвильового імпедансу ДЛ. Вхідний імпеданс відрізка ДЛ дорівнює

$$z_{\text{вх}} = \frac{z_{\text{н}} + iz \operatorname{tg} \varphi}{1 + iz_{\text{н}} z^{-1} \operatorname{tg} \varphi}, \quad (1)$$

де  $i = \sqrt{-1}$ ;  $z_{\text{н}}$  — імпеданс навантаження;  $z$  — хвильовий імпеданс відрізка ДЛ;  $\varphi = \beta l$ ,  $\beta$  — хвильове число,  $l$  — довжина відрізка ДЛ.

Для секції ДЛ  $z_{\text{н}} = 1$  і вираз (1) набуває форми

$$z_{\text{вх}} = \frac{1 + iz \operatorname{tg} \varphi}{1 + iz^{-1} \operatorname{tg} \varphi}. \quad (2)$$

За умов  $l < \lambda / 8$  ( $\lambda$  — довжина хвилі) та  $z \ll 1$  маємо  $z_i \approx (1 + iz^{-1} t)^{-1}$ . Отже, така секція ДЛ наближено відповідає паралельно включеній ємності.

Для розімкнутого шлейфа  $z_{\text{н}} = \infty$  і з (1) отримаємо

$$z_{\text{вх}} = \frac{z}{i \operatorname{tg} \varphi}. \quad (3)$$

У разі  $l < \lambda / 4$  шлейф має ємнісний характер.

Зважаючи на (2) та (3), формулу для коефіцієнта відбиття та закон збереження енергії, у результаті перетворень для коефіцієнтів проходження секції  $T_c$  та шлейфа  $T_{ш}$  отримаємо

$$T_c = \frac{1}{\sqrt{1 + [(1 - z^2) \sin \varphi / 2z]^2}}, \quad (4)$$

$$T_{ш} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\operatorname{tg} \varphi / 2z)^2}}. \quad (5)$$

Коефіцієнт передачі (проходження) кола, утвореного зосередженою ємністю  $C$ , включеною паралельно навантаженню, дорівнює

$$T_c = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega CZ_0 / 2)^2}}, \quad (6)$$

де  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  — частота.

З огляду на (4) – (6) для еквівалентних ємностей секції та шлейфа отримуємо

$$C_c = \frac{(1 - z^2) \sin \varphi}{\omega z Z_0}, \quad C_{ш} = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\omega z Z_0}. \quad (7)$$

Еквівалентні ємності секції та шлейфа залежать від частоти. Оскільки  $\sin x < x < \operatorname{tg} x$ , ємність секції зменшується з частотою, а шлейфа — зростає.

За умови  $\sin \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi \approx \varphi$  значення ємності визначає співвідношення  $C_c \approx C_{ш} \approx C$ . Оскільки  $z^2 \ll 1$ , з (7) маємо

$$C = \frac{l}{z Z_0 v}, \quad (8)$$

де  $v$  — фазова швидкість хвилі. Водночас у формулі (6)  $\omega CZ_0 = \varphi / z$ .

На рис. 2, а наведено залежності згідно (4) – (6). Максимальне значення  $\varphi = \pi / 4$  відповідає умові  $l = \lambda / 8$ . Внаслідок частотних залежностей еквівалентних ємностей крутість характеристики для секції менша, а для шлейфа більша, порівнюючи з характеристикою для зосередженої ємності.

Зважаючи на (7) та (8), відносні похибки еквівалентних ємностей секції та шлейфа дорівнюють

$$\delta_c = \frac{(1 - z^2) \sin \varphi - \varphi}{\varphi}, \quad \delta_{ш} = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \varphi}{\varphi}. \quad (9)$$

Рис. 2, б ілюструє залежності (9). Максимальні похибки  $|\delta_c|$  та  $\delta_{ш}$  дорівнюють 14% та 27% відповідно.

Аналогічно еквівалентній ємності низькоімпедансної секції еквівалентна індуктивність високоімпедансної секції зменшується з частотою. У результаті крутість амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) ФНЧ на основі таких елементів менша, порівнюючи з ФНЧ на основі зосереджених

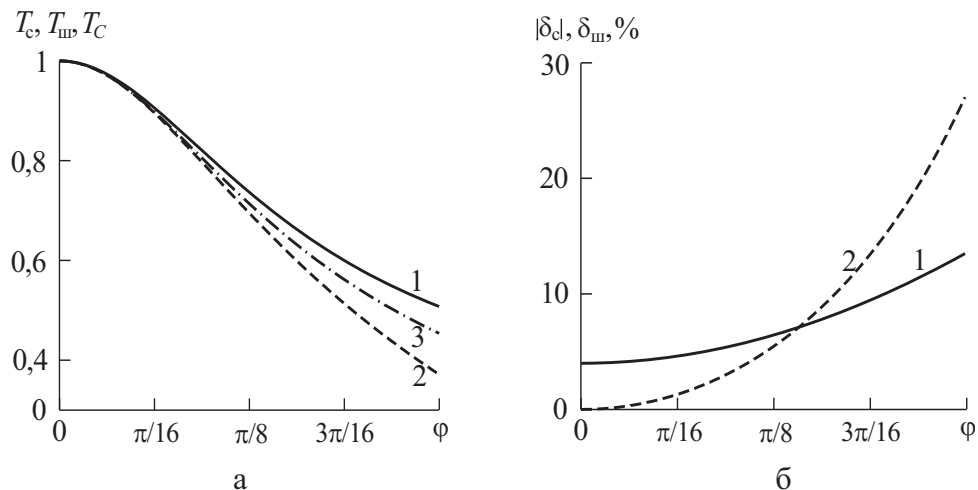


Рисунок 2. Залежності коефіцієнтів проходження (а) для секції (1), шлейфа (2) і зосередженої ємності (3) та відносної похибки еквівалентної ємності (б) секції (1) і шлейфа (2),  $z = 0,2$ .

елементів. На крутість АЧХ мікросмужкового шлейфа впливає паразитна індуктивність шлейфного Т-з'єднання. Зазвичай ця індуктивність від'ємна, що погіршує крутість АЧХ шлейфа та ФНЧ. З'єднання шлейфа з лінією маленьким контактним майданчиком [2] дозволяє значно зменшити паразитну індуктивність, компенсувати її й навіть зробити додатною. У результаті крутість АЧХ ФНЧ зростає й може перевищити крутість АЧХ ФНЧ на основі зосереджених елементів. Порівнюючи з двовимірними шлейфами, суттєво кращі параметри мають тривимірні шлейфи [2].

#### Перелік посилань

1. Hong J.-S. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications / J.-S. Hong. — N. Y.: Wiley, 2011. — 656 p.
2. Первак С. Г. Мікросмужкові тривимірні ємнісні шлейфи / С. Г. Первак, Я. Л. Зінгер, Ю. Ф. Адаменко, В. О. Адаменко, Є. А. Нелін // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2019, № 77, с. 30-35.

#### Анотація

Виконано порівняння квазізосереджених ємностей на основі секції лінії передачі та розімкнутого шлейфа. Наведено залежності коефіцієнтів проходження та відносних похибок ємностей.

**Ключові слова:** квазізосереджена ємність, низькочастотний фільтр.

#### Аннотация

Выполнено сравнение квазизососредоточенных емкостей на основе секции линии передачи и разомкнутого шлейфа. Приведены зависимости коэффициентов прохождения и относительных погрешностей емкостей.

**Ключевые слова:** квазизососредоточенная емкость, низкочастотный фильтр.

#### Abstract

A comparison of quasi-lumped capacitances based on transmission line section and open stub is performed. Transmission coefficient characteristics and capacitance relative error dependences are given.

**Keywords:** quasi-lumped capacitance, low-pass filter.