

УДК 621.372.852.1

Карпуков Л.М.¹, Воскобойник В.О.², Савченко Ю. В.³, Ісаченко Д.О.⁴

¹ д-р техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

² канд. техн. наук, проф. НУ «Запорізька політехніка»

³ канд. техн. наук, доц. Університету митної справи та фінансів

⁴ студ. гр. БК-713сп НУ «Запорізька політехніка»

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ВИБІРКОВОСТІ ШЛЕЙФНОГО ФІЛЬТРА НИЗЬКИХ ЧАСТОТ

Шлейфні фільтри знаходять широке застосування в системах передачі, прийому та захисту інформації завдяки простоті конструкції, можливості реалізації в мікросмужковому виконанні та технологічності при масовому виготовленні.

Традиційні структури шлейфних фільтрів, які складені з чвертьхвильових розімкнених шлейфів і відрізків ліній передачі, не мають достатньої вибіркості.

Підвищити вибіркості можна шляхом додавання двосекційного шлейфу, що забезпечує нуль коефіцієнта передачі в смузі загородження, до структури традиційного фільтра шлейфного, як показано на рис. 1.

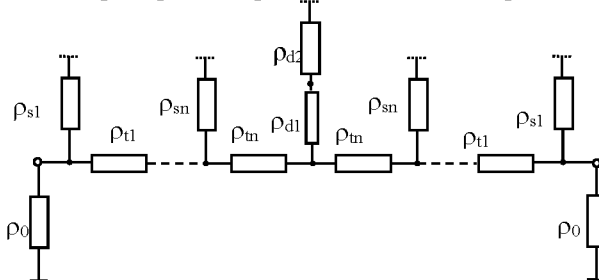


Рисунок 1 – Структура фільтра з нулем коефіцієнта передачі

На рисунку ρ_0 , ρ_t , ρ_s - хвильові опори вхідного та вихідного портів, відрізків ліній та односекційних шлейфів, відповідно; ρ_{d1} , ρ_{d2} - хвильові опори двосекційного шлейфу.

Мета роботи полягає у розробці методу синтезу фільтрів зі структурою на рис. 1 і рівнохвильовою характеристикою смуги пропускання.

Елементи структури фільтра характеризуються матрицями передачі:
– для відрізка лінії

$$T_t(\theta) = \cos(\theta)E + j \frac{\sin(\theta)}{2R_t} \begin{bmatrix} R_t^2 + 1 & -(R_t^2 - 1) \\ R_t^2 - 1 & -(R_t^2 + 1) \end{bmatrix}, A_{21_t} = 1; \quad (1)$$

– для розімкнутого на кінці шлейфу

$$T_s(\theta) = \cos(\theta)E + j \frac{\sin(\theta)}{2R_s} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}, A_{21_s} = \cos(\theta); \quad (2)$$

– для двосекційного розімкнутого на кінці шлейфу

$$\left. \begin{aligned} T_d(\theta) &= \left(\cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_0) \right) E + j \frac{\sin(2\theta)}{4R_{d1}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}, \\ A_{21_d}(\theta) &= \cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_0). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де E – подинка матриця, $R_i = \rho_i / \rho_0$ – нормовані опори ліній; $j = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця, θ – електрична довжина, θ_0 – кут, що відповідає нулю передачі.

Функція фільтрації цієї структури, що отримана при перемноженні матриць передач (1) - (3) її елементів, має вигляд:

$$F(\theta) = j \frac{\sin(\theta) \sum_{k=0}^{n_s} a_k \sin^{2k}(\theta)}{\cos^{n_s-1}(\theta) \left[\cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_0) \right]}, \quad (4)$$

де n_s - число односекційних шлейфів.

Функцією такого виду може бути представлена Чебишевська функція

$$F_a(\theta) = \cos \left\{ n_s \arccos \left[\frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta_c)} \right] + (n_s - 1) \arccos \left[\frac{\operatorname{tg}(\theta)}{\operatorname{tg}(\theta_c)} \right] + 2 \cos[\eta(\theta, \theta_0)] \right\}, \quad (5)$$

Яка має рівнохвильову характеристику в смузі від нуля до θ_c та має полюс при $\theta_0 > \theta_c$.

Тут

$$\eta(\theta, \theta_0) = h_0 \frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta_c)} \sqrt{1 - S(\theta)^2 / S(\theta_0)^2},$$

$$h_0 = \sqrt{1 - S(\theta_c)^2 / S(\theta_0)^2}.$$

Наприклад, для структури з трьох шлейфів ($n_s=3$) і двох ліній ($n_l=2$) при $\theta_c=0,7$, $\theta_0=0,8$ функція (5) набуде наступного вигляду:

$$F_a(\theta) = \frac{\sin(\theta) \sum_{k=0}^2 b_k \sin^{2k}(\theta)}{\cos(\theta) [\cos^2(\theta) - \cos^2(\theta_0)]} \quad (6)$$

зі значеннями коефіцієнтів $b=2,911; -20,816; 33,94$.

Визначення оптимальних значень хвильових опорів фільтра, при яких його функція фільтрації збігається з (6), здійснюється з вирішення оптимізаційної задачі з цільовою функцією, що мінімізує різницю функцій $F(\theta)$ і $F_a(\theta)$ в діапазоні кутів від нуля до θ_c .

Для умов прикладу та для згасання $\alpha=0,1$ Дб отримані такі нормовані значення хвильових опорів: $R=0,823; 1,49; 2,081$.

На рис. 2 для цих значень R наведена амплітудно-частотна характеристика фільтра (суцільна лінія). Пунктирною лінією на рисунку відзначено характеристику фільтра, що складається з трьох простих односекційних шлейфів та двох ліній з опорами $R=0,746; 1,953; 0,447$, отриманими з розв'язання аналогічного оптимізаційного завдання. У верхній

частині рисунку представлені рівнохвильові характеристики фільтрів у смузі пропускання.

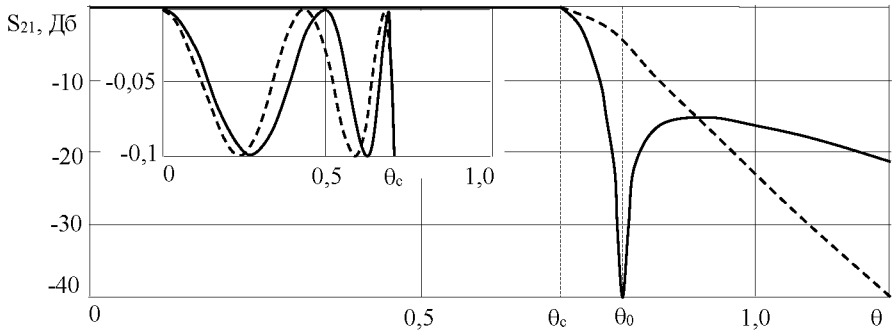


Рисунок 2 – Амплітудно-частотні характеристики фільтрів

Таким чином, введення двосекційного шлейфу в традиційну структуру шлейфного фільтра забезпечило істотне підвищення крутості спаду частотної характеристики в перехідній області.