

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ФИЛЬТРОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА

Петровский И. И., Свито И. Л., Нехаичик Е. В.

Кафедра теоретических основ электротехники,

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: {Nehajchik, Svito}@bsuir.by, Petrovski47@mail.ru

В работе рассматривается чувствительность фильтрующих устройств, построенных с использованием элементов высшего порядка в зависимости от параметров элементов в структурах фильтров.

ВВЕДЕНИЕ

Применение элементов высшего порядка в электрических фильтрах обеспечивает требуемые амплитудно- и фазочастотные характеристики фильтрующих устройств [1,2].

I. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

Так как элементы высшего порядка построены на активных элементах, в частности, на операционных усилителях, то возникает вопрос устойчивости работы и, соответственно, чувствительности электрических фильтров к изменению параметров элементов [3].

Математическая модель любой электрической цепи может быть представлена в виде передаточной функции:

$$W(p) = \frac{A(p)}{B(p)}$$

При этом, для исследования влияния какого-либо параметра на передаточную функцию, её можно представить в виде:

$$W(p) = \frac{A_1(p) + kA_2(p)}{B_1(p) + kB_2(p)}$$

где k – параметр цепи.

Тогда чувствительность электрической цепи можно рассчитать по формуле:

$$S_k^w = \frac{\delta W}{\delta k}$$

В теории фильтров также исследуется чувствительность нулей и полюсов. При этом можно также рассчитать чувствительность добротности и резонансной частоты в зависимости от параметров элементов.

РАСЧЁТ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Элементы высшего порядка содержат в своей структуре как активные, так и пассивные элементы, которые влияют на характеристики фильтра. Для дальнейшего исследования возьмём схемы фильтров с элементами второго порядка, представленные на рис. 1а, 1б [1].

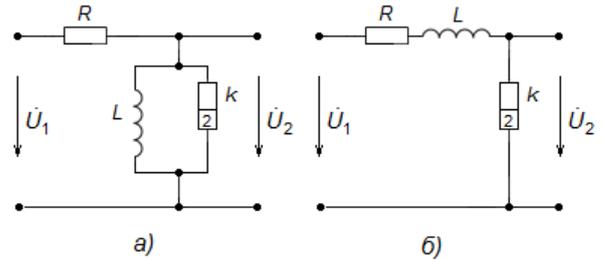


Рис. 1 – Схемы фильтров

Передаточные функции этих фильтров, соответственно будут:

$$W(p) = \frac{p^2}{p^2 + \frac{R}{L}p + \frac{R}{k}}, W(p) = \frac{p^2}{p^2 + \frac{L}{k}p + \frac{R}{k}}$$

С учётом внутренней структуры элементов высшего порядка передаточная функция фильтра (рис. 1,а) имеет вид [4]

$$W(p) = \frac{R_m R_4 T_\alpha^2 p^2}{R_m R_4 T_\alpha^2 p^2 + 4R_3 R_\tau p + R_3 R}$$

После преобразования эту функцию можно представить:

$$|W(\omega)| = \sqrt{\frac{R_m^2 R_4^2 T_\alpha^4 \omega^4}{R_m^2 R_4^2 T_\alpha^4 - 2R_m R_4 T_\alpha^2 R R_3 \omega^2 + 16R_3 R^2 \tau^2 \omega^2 + R^2 R_3^2}}$$

Чувствительность функции фильтра от различных параметров цепи после нормирования $x = \frac{\omega}{\omega_0}$

$$S_{R_4}^{|W(\omega)|} = S_{R_m}^{|W(\omega)|} = 1 - \frac{x^4 - x^2}{x^4 - 1,84x^2 + 1},$$

$$S_{\tau_\alpha}^{|W(\omega)|} = 2 - \frac{2x^4 - 2x^2}{x^4 - 1,84x^2 + 1},$$

$$S_{R_3}^{|W(\omega)|} = \frac{0,84x^2 - 1}{x^4 - 1,84x^2 + 1},$$

$$S_\tau^{|W(\omega)|} = \frac{0,16x^2}{x^4 + 1,34x^2 + 1},$$

где значения параметров схемы:

$$R = 100\text{Ohm}, R_3 = 10^3\text{Ohm}, R_4 = 10^3\text{Ohm},$$

$$\tau_\alpha = 10^{-4}\text{c}, \tau = 10^{-5}\text{c}, \omega_0 = 10^4\text{c}^{-1},$$

Графически эти характеристики чувствительности представлены на рис.2.

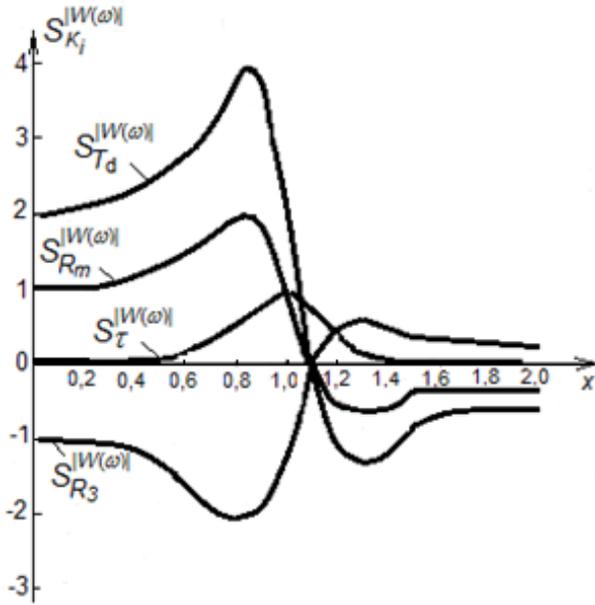


Рис. 2 – Чувствительность фильтра, представленного на рис. 1,а

В соответствии с ранее изложенным, передаточная функция фильтра (рис. 1.б) будет иметь вид:

$$W(p) = \frac{R_L T_i^2 \tau p^2}{R_L T_i^2 \tau p^2 + 4R_L T_i^2 p + R_T}$$

Функции чувствительности от параметров элементов и после нормирования имеют вид:

$$S_{R_L}^{|W(\omega)|} = 1 - \frac{0,64x^4 - 0,26x^2}{0,64x^4 - 0,96x^2 + 1},$$

$$S_{T_i}^{|W(\omega)|} = 2 - \frac{1,3 * 10^{-2}x^4 + 6,4 * 10^5 x^2}{6,4 * 10^{-3}x^4 + 6,4 * 10^5 x^2 + 10^{-2}},$$

$$S_R^{|W(\omega)|} = \frac{0,9x^2 - 1}{0,64x^4 - 0,96x^2 + 1},$$

$$S_T^{|W(\omega)|} = 1 - \frac{0,64x^4 - 1,6x^2 + 1}{0,64x^4 - 0,96x^2 + 1},$$

где значения параметров схемы:

$$R = 500\text{Ohm}, R_3 = 500\text{Ohm},$$

$$\tau_L = 10^{-4}\text{c}, \tau = 10^{-3}\text{c}, \omega_0 = 4 * 10^3\text{c}^{-1},$$

Графически эти характеристики чувствительности представлены на рис. 3.

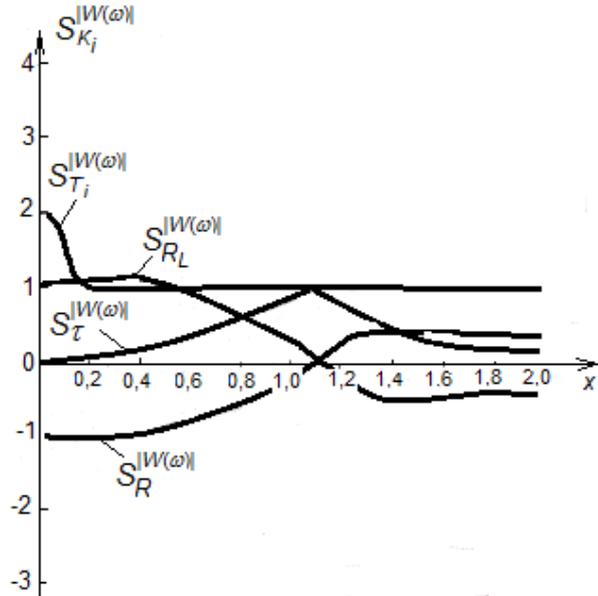


Рис. 3 – Чувствительность фильтра, представленного на рис. 1,б

II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ чувствительности традиционных активных фильтров на гираторах и операционных усилителях с фильтрами на элементах высшего порядка показывает, что чувствительность последних не выше в сравнении с классическими активными фильтрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. И. Петровский, И. Л. Свито. Применение элементов высшего порядка в фильтрах нижних и высших частот. Материалы международной научной конференции «ИТС-2020», 2020 г., БГУИР Минск, Беларусь.
2. И. И. Петровский, И. Л. Свито, Л. Ю. Шилин. Элементы высшего порядка в полосовых фильтрах. Материалы международной научной конференции «ИТС-2021», 2021 г., БГУИР Минск, Беларусь.
3. А. Е. Знаменский, И. Н. Теплоу. Активные RC – фильтры. - М.: Связь, 1970.
4. Petrovski, I. Beitrag zum Entwurf aktiver Spannungsteiler Filter mit Elementen hoherer Ordnung. Dissertation, TH Ilmenau, DDR, 1982.