ЭЛЕМЕНТЫ ВЫСШЕГО ПОРЯДКА В ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРАХ

Петровский И. И., Свито И. Л., Шилин Л. Ю.
Кафедра теоретических основ электротехники,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектороники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: Petrovski47@mail.ru, {svito, dekfitu}@bsuir.by

В работе рассматривается возможность применения элементов высшего порядка, предложенных как новые элементы в теории электрических цепей, в различных устройствах автоматики и других электротехнических системах. Рассматривается возможность применения этих элементов в фильтрующих устройствах, в частности, в полосовых фильтрах.

Введение

Известные методы преобразования L, C фильтров в полосовые фильтры имеют существенный недостаток, так как в продольной оси фильтра появляется колебательный контур. Этот контур трудно реализовать с помощью активных R, C элементов [1].

При применении элементов высшего порядка это можно существенно упростить, так как в продольной оси не требуется имитация индуктивности с помощью активных R, C элементов.

В дальнейшем будет показано, как через преобразование частоты с помощь элементов высшего порядка это может быть реализовано [3].

I. Элементы высшего порядка в фильтрах

Известно, что трансформация частоты

$$p \sim \frac{1}{p}$$

преобразует фильтр нижних частот в фильтр высших частот. Если применить преобразование

$$p \sim \left(\frac{w_r}{\bar{p}} + \frac{\bar{p}}{w_r}\right)$$

то это даёт возможность перейти от фильтра нижних частот к полосовому фильтру. При этом

$$w_T = \frac{f_{+1} - f_{-1}}{f_{+1} * f_{-1}}$$

где f_{+1} верхняя граничная частота полосового фильтра, а f_{-1} – нижняя частота. Фильтр нижних частот с элементами высшего порядка имеет вид (рис. 1) [2].

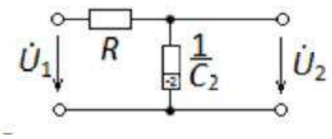

Рис. 1 – Фильтр нижних частот

После применения трансформации частоты полосовой фильтр представлен на рис. 2.

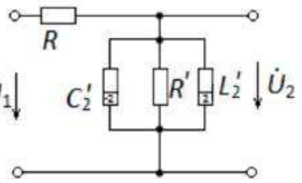

Рис. 2 – Полосовой фильтр

Элемент второго порядка преобразуется по формуле

$$\frac{1}{p^2C^2} = \frac{1}{\frac{p^{-2}C^2}{w_T^2} + 2C_2 + \frac{C_2W_r^2}{\bar{p}_2}}$$

Таким образом, при трансформации частоты возникает из одного элемента второго порядка три новых элемента, из них два элемента второго порядка и активное сопротивление. Так как в момент резонанса сопротивление параллельного участка полосового фильтра должно быть равно нулю, то

$$\frac{1}{p^2L_2^{‘}} + \frac{1}{R^{‘}} + p^2C_2^{‘} = 0$$

Решением уравнения

$$p^4L_2'C_2' + p^2\frac{L_2'}{R'} + 1 = 0$$

будет выражение

$$p_i = \pm\sqrt{-\frac{1}{2C_2'R'} \pm \sqrt{\frac{1}{4(C_2')^2(R')^2} - \frac{1}{L_2'C_2'}}}.$$

Так как этот параллельный участок фильтра рассматривается как резонансный контур, то не менее двух корней должны быть мнимыми. При этом, если рассматривать L_2', C_2', R' как положительные величины, то возможны три варианта.

1. Выражение во внутреннем квадратном корне для определения p_i может быть отрицательным. Тогда одна пара корней p_i будут иметь положительную действительную часть. Это недопустимо с точки зрения устойчивости.

2. Выражение во внутреннем квадратном корне равно нулю. Тогда получаются два двойных равных корня, что также недопустимо из-за устойчивости.
3. В работе исследуется случай, если

$$\frac{1}{4(C_2^{2})^2(R^{`})^2} - \frac{1}{L_2^{`}C_2^{`}} \geq = 0.$$

Тогда неравенство

$$\left|\frac{1}{2C_2^{`}R^{`}}\right| > \left|\sqrt{\frac{1}{L_2^{`}(C_2^{`})^2(R^{`})^2} - \frac{1}{L_2^{`}C_2^{`}}}\right|$$

всегда выполняется. Отсюда получаем две пары мнимых корней, которые отличаются друг от друга и лежат на мнимой оси. В этом случае система устойчива. Для определения элементов полосового фильтра действительна формула для C_2'

$$C_2' = \frac{C_2}{w_T^2}$$

а при заданном сопротивлении R' для L_2' действует ограничение

$$L_2' > \frac{4C_2(R')^2}{w_T}$$

II. Расчёт элементов полосового фильтра и определение характеристик

При практическом расчёте чаще всего применяется частотная трансформация

$$p \sim \frac{w_0}{w_b}\left(\frac{\bar{p}}{w_0} + \frac{w_0}{\bar{p}}\right).$$

где w_0 – средняя частота полосового фильтра; w_b – ширина полосы пропскания фильтра.

В этом случае сопротивление фильтра будет

$$Z(p) = \frac{1}{\frac{C_2}{w_2^2}p^2 + \frac{2w_0^2}{w_b^2} + \frac{w_0^4}{w_b^2 p^2}C_2}$$

Его график в нормированном виде представлен на рис. 3.

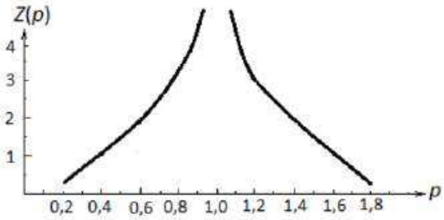

Рис. 3 – Операторное сопротивление фильтра

Передаточная функция фильтра тогда примет вид

$$W(p) = \frac{w_b^2 p^2}{RC_2p^4 + (2w_0^2C_2R + w_b^2)p^2 + w_0^4C_2R}.$$

В нормированном виде передаточная функция полосового фильтра представлена на рис. 4.

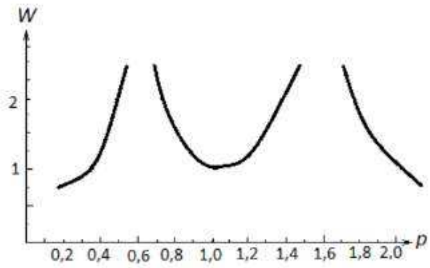

Рис. 4 – Передаточная функция

III. Заключение

Таким образом, из приведённого можно сделать вывод, что с помощью двух элементов высшего порядка можно получить любую передаточную функцию полосового фильтра и рассчитать его параметры.

IV. Список литературы

1. Panzer, K. Ein Beitrag zum Entwurf von aktiven Bandfiltern mit der minimalen Anzahl von Kondensatoren. Dissertation, TU Munchen, 1975.
2. Петровский И.И., Свито И.Л. Применение элементов высшего порядка в фильтрах нижних и высших частот. Материалы международной научной конференции «ИТС-2020», 2020 г., БГУИР Минск, Беларусь.
3. Philippow, E., Bruckner, P., Schaltungsanordnung zum Erzeugung sowie zum Transformation linearer und nichtlinearer frequenzabhandiger Zweitpole hoherer Ordnung. Patentonnmeldung, TH Ilmenau, 1976.