

Полосовой LC фильтр с полюсами затухания

А.И. Тюменцев, А.А. Тюменцева, Т.С. Тимошенко

АО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения»

Аннотация: Рассмотрена схема полосового перекрытого Т-образного LC фильтра. Проведено его преобразование, для получения реализуемых на практике значений элементов. Выведены соотношения для расчета номиналов схемы. Проведены схемотехническое моделирование и экспериментальная проверка полученной схемы фильтра.

Ключевые слова: полосовой фильтр, эквивалентные преобразования четырехполюсников, узкополосный LC фильтр.

1. Введение

В отличие от широко используемых лестничных схем LC-фильтров, перекрытые Т-образные схемы фильтров находят весьма ограниченное применение. Вместе с тем, являясь неминимально-фазовыми цепями перекрытые Т-образные схемы позволяют более гибко подходить к проектированию фильтров с заданными фазовыми характеристиками. Основными причинами, препятствующими более широкому практическому применению перекрытых Т-образных схем LC-фильтров, являются как большое различие значений элементов в продольной и поперечной ветвях, которые зачастую оказываются неудобными для практической реализации, так и небольшое внимание, уделенное методам их расчета.

В настоящей работе рассматривается возможность создания полосового перекрытого Т-образного фильтра второго класса по затуханию, свободного от недостатков, присущих известным аналогичным фильтрам такого типа.

2. Расчетные соотношения

Известно, что перекрытый Т-образный фильтр всегда может быть получен преобразованием из симметричного мостового, сопротивления плеч которого обозначим Z_a и Z_b

Сопротивления ветвей Z_a и Z_b рассматриваемой схемы приведены на рисунке 1.

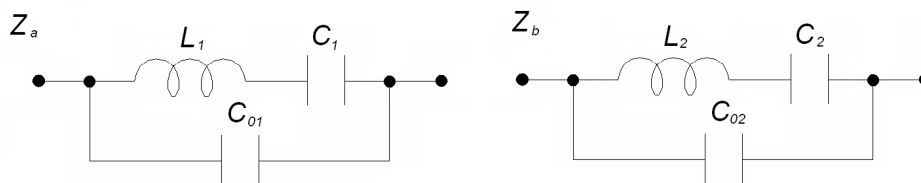


Рисунок 1. Сопротивления ветвей Z_a и Z_b

Резонансные частоты этих двухполюсников выбраны так, как показано на рисунке 2.

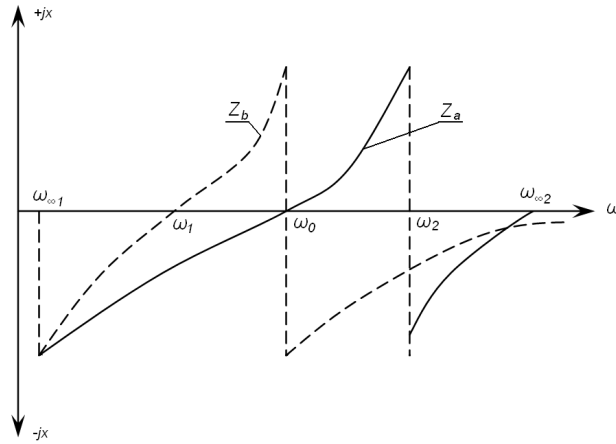


Рисунок 2. Частотные зависимости для двухполюсников Z_a и Z_b

При выбранных частотных зависимостях реактивных двухполюсников Z_a и Z_b можно реализовать два полюса затухания при любых заданных их значениях.

Элементы этой схемы могут быть рассчитаны по нижеприведенным формулам, полученные в работе [1].

$$\begin{aligned}
 L_1 &= \frac{MZ_m}{\Delta\omega} & C_{01} &= \frac{1}{\omega_0 Z_m M} & C_1 &= C_{01} \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \\
 L_2 &= \frac{Z_m}{\Delta\omega M} & C_{02} &= \frac{M}{\omega_0 Z_m} & C_2 &= C_{02} \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \\
 \Delta\omega &= \omega_2 - \omega_1 & M &= \frac{1 + m_1 m_2}{m_1 + m_2} \\
 m_1 &= \sqrt{\frac{\omega_2^2 - \omega_{\infty 1}^2}{\omega_1^2 - \omega_{\infty 1}^2}} & m_2 &= \sqrt{\frac{\omega_2^2 - \omega_{\infty 2}^2}{\omega_1^2 - \omega_{\infty 2}^2}} & \omega_0 &= \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Коэффициент M , определяющий положение полюсов затухания, может принимать теоретически любое значение в зависимости от выбранных величин m_1 и m_2 . При симметричном относительно средней частоты ω_0 расположении полюсов затухания $m_1 = 1/m_2$ величина $M < 1$. В этом случае $C_{01} > C_{02}$. Вынесем емкость C_{02} за пределы мостовой схемы и включим емкость C_{02} параллельно входным и выходным зажимам фильтра. При этом сопротивление Z_a будет содержать последовательный контур с элементами L_1 и C_1 и параллельную емкость равную $C_{01} - C_{02}$, сопротивление Z_b будет содержать только последовательный контур с элементами L_2 и C_2 . Если при этом емкость C_2 будет меньше величины $C_{01} - C_{02}$, возможно, оставшуюся часть мостовой схемы заменить перекрытой Т-образной, как это показано на рисунке 3.

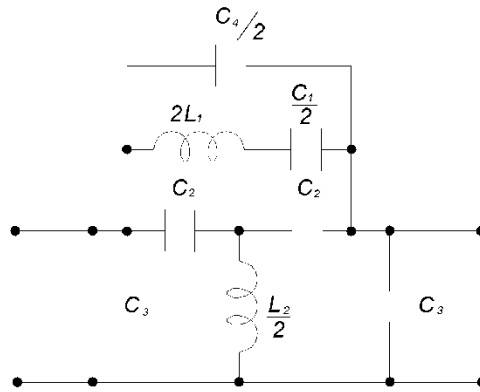


Рисунок 3. Схема полосового перекрытого Т-образного фильтра

Здесь $C_3 = C_{02}$, $C_4 = C_{01} - C_{02} - C_2$ по условиям эквивалентного преобразования. Определим величины C_3 и C_4 , используя соотношения (1):

$$C_3 = \frac{1 - M^2}{Z_m \omega_0 M}, \quad C_4 = \frac{\omega_0 - M^2(\omega_0 + \Delta\omega)}{Z_m \omega_0^2 M} \quad (2)$$

Чтобы величина C_3 была положительной необходимо, чтобы $M < 1$, а для выполнения условия $C_4 > 0$ необходимо, чтобы $M^2 < \frac{\omega_0}{\omega_0 + \Delta\omega}$. Таким образом, для реализации преобразования исходной схемы в Т-образную необходимо и достаточно выполнить условие:

$$M < \sqrt{\frac{\omega_0}{\omega_0 + \Delta\omega}} \quad (3)$$

Предварительные расчеты показывают, что индуктивность $2L_1$ примерно в M^2 раз больше индуктивности $L_2/2$. Чтобы уровнять их номиналы введем в схему дополнительные емкости C_0 , как показано на рисунке 4, заменив L_1 на L_{10} , C_1 на C_{10} , C_2 на C_{20} и C_4 на C_{40} .

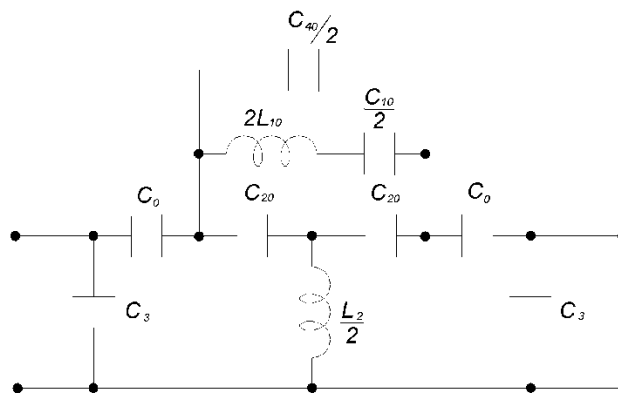


Рисунок 4. Схема перекрытого Т-образного фильтра с дополнительными емкостями C_0

Значения элементов C_{10} , C_{20} , C_{40} и L_{10} можно определить из следующих соотношений:

$$C_{10} = \frac{C_0^2 C_1}{(C_0 - C_2 - C_4)(C_0 - C_2 - C_4 - C_1)}, \quad C_{20} = \frac{C_0 C_2}{C_0 - C_2} \quad (4)$$

$$L_{10} = L_1 \left(\frac{C_0 - C_2 - C_4}{C_0} \right)^2, \quad C_{40} = C_4 \frac{C_0^2}{(C_0 - C_2)(C_0 - C_2 - C_4)}$$

Поскольку на входе и выходе схемы имеется пара конденсаторов C_0 и C_3 , подключая к C_0 идеальный трансформатор с коэффициентом трансформации $n < 1$, используя преобразование Нортона [2] возможно уменьшить индуктивности L_2 и L_{10} и увеличить значения емкостей C_{10} , C_{20} и C_{40} .

2. Результаты схемотехнического моделирования

Для подтверждения правильности полученных выше соотношений, был рассчитан фильтр на частоту 300 МГц с полосой пропускания 7%. Амплитудно-частотные характеристики фильтра, полученные путем схемотехнического моделирования, с учетом добротностей элементов схемы приведены на рисунке 5.

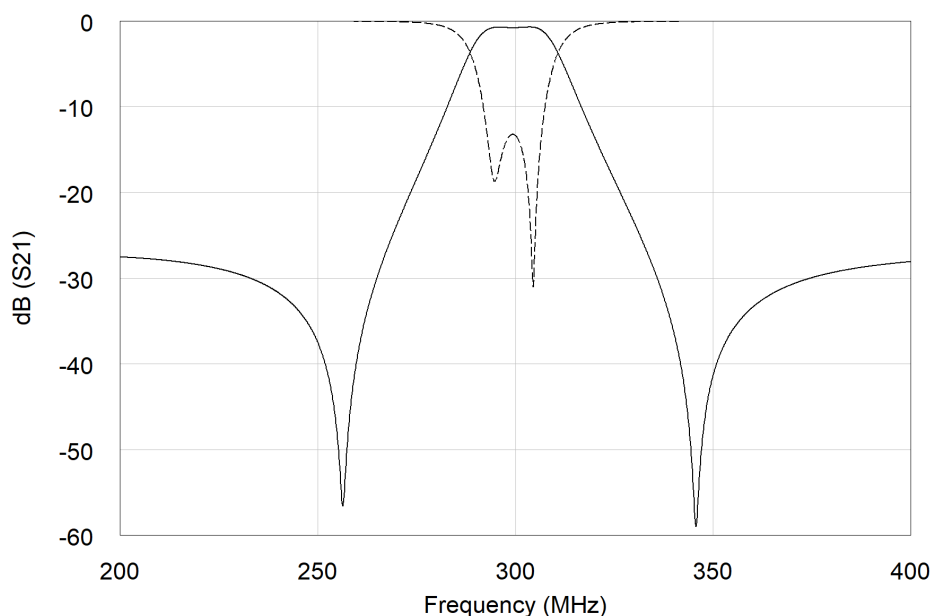


Рисунок 5. Частотные характеристики фильтра

3. Заключение

На основании выше изложенного можно прийти к следующим выводам:

- рассмотрена перекрытая Т-образная схема полосового LC фильтра, содержащая минимальное количество индуктивных элементов, позволяющая реализовать узкополосные частотно-избирательные устройства с двумя полюсами затухания на заданных частотах;
- получены расчетные соотношения для определения номиналов элементов схемы с возможностью выбора номинала катушек индуктивности и трансформации до необходимого значения;
- проведена экспериментальная проверка, показавшая правильность проведенных преобразований и выведенных расчетных соотношений.

– показано, что рассмотренная схема фильтра при полосе пропускания 7% и применяемых для практики значениях добротностей катушек индуктивности позволяет обеспечить малые вносимые потери в полосе пропускания.

Список литературы

1. Великин Я.И., Гельмонт З.Я., Зелях Э.В. Пьезоэлектрические фильтры. М.:Связь, 1966, 396 стр.
2. Черне Х.И. Индуктивные связи и трансформации в электрических фильтрах. М.:Связьиздат, 1962, 318 стр.