УДК 621.372.852.1

А.А. Абросимов, В.П. Разинкин

Эллиптические фильтры на сосредоточенных элементах

Описан метод построения эллиптических полосно-пропускающих фильтров на сосредоточенных элементах для радиоканала телекоммуникационных и цифровых систем передачи информации. Предложенный метод обеспечивает хорошую физическую реализуемость элементов, высокую селективность фильтров, обусловленную использованием двухрезонансных колебательных контуров.

Ключевые слова: фильтр, амплитудно-частотная характеристика, коэффициент связи.

Задача определения структуры эллиптических фильтров в сосредоточенном базисе. Качество работы современных радиотехнических и телекоммуникационных систем во многом определяется частотно-избирательными цепями и фильтрами. Для радиоприемных и радиопередающих трактов в настоящее время применяют фильтры с эллиптическими амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ), поскольку они обладают высокой избирательностью при небольшом порядке фильтра. Однако эллиптические узкополосные фильтры, синтезированные по классическим методам, не всегда имеют хорошую физическую реализуемость элементов, что приводит к большим прямым потерям в полосе пропускания. Это относится и к сосредоточенному, и к распределенному базису. Таким образом, задача разработки эллиптических фильтров с узкой полосой пропускания и хорошей физической реализуемостью элементов актуальна и полезна в практическом отношении. В данной работе предложены метод построения и выбор параметров двухконтурного модуля с эллиптической АЧХ, выполненного на сосредоточенных элементах.

Двухконтурный модуль с эллиптической АЧХ. Основой построения полосно-пропускающих фильтров является пара связанных параллельных колебательных контуров. Эффективным средством повышения селективных свойств двухконтурного модуля является использование колебательных контуров второго рода, имеющих как резонанс токов, так и резонанс напряжений. Два возможных вида таких контуров показаны на рис. 1.

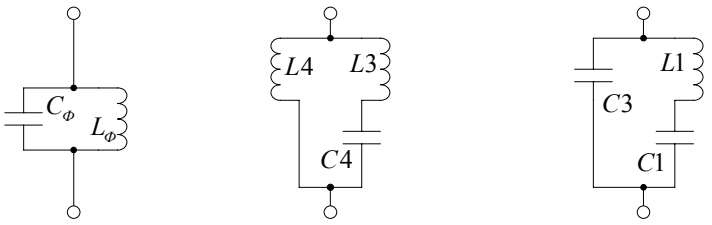


Рис. 1. Двухмодовые колебательные контуры: *а* – параллельный контур; *б* – контур с верхней частотой режекции; *в* – контур с нижней частотой режекции

Колебательные контуры, показанные на рис. 1, предлагается использовать в полосно-пропускающих фильтрах, при этом их параметры следует выбирать из условия

$$\frac{\partial B_Ф(\omega)}{\partial \omega} = \frac{\partial B(\omega)}{\partial \omega}\Big|\omega = \omega_0 , \qquad (1)$$

где $B_Ф(\omega)$ – реактивная проводимость параллельного контура полосно-пропускающего фильтра; $B(\omega)$ – реактивная проводимость контура второго рода; $C_Ф$ – емкость параллельного контура фильтра, рассчитанная по соотношению, аналогичному (1); ω_0 – центральная частота полосы пропускания.

Из условия (1) получены расчетные выражения для элементов контуров, показанных на рис. 1, *б*, *в*.

$$C2 = \frac{2C_Ф}{1 + \left(\frac{\omega_0^2}{\omega_{-1}^2} - 1\right)\left[\frac{\omega_{-1}^2\left(\omega_{-1}^2 + \omega_0^2\right)}{\left(\omega_{-1}^2 - \omega_0^2\right)}\right]} , \qquad (2)$$

$$L2=\frac{1}{2C_{\Phi}\omega_0^2}\left[1+\left(1-\frac{\omega_0^2}{\omega_{+1}^2}\right)\left(\frac{\omega_{+1}^2\left(\omega_{+1}^2+\omega_0^2\right)}{\left(\omega_{+1}^2-\omega_0^2\right)^2}\right)\right], \quad (3)$$

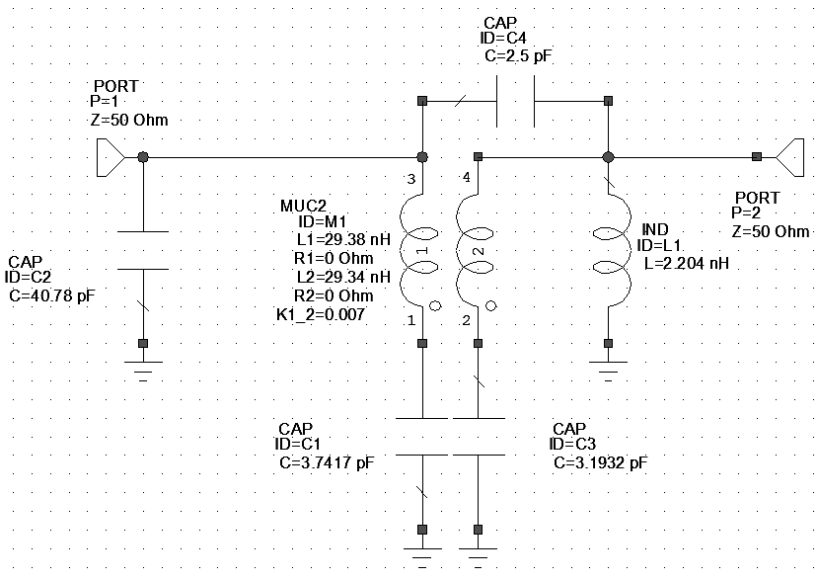
$$C1=C2\left(\frac{\omega_0^2}{\omega_{-1}^2}-1\right), \quad (4)$$

$$L1=\frac{1}{\omega_{-1}^2 C1}, \quad (5)$$

$$C3=\frac{1}{\omega_0^2 L2}\left(1-\frac{\omega_0^2}{\omega_{+1}^2}\right). \quad (6)$$

$$L3=\frac{1}{\omega_{+1}^2 C3}, \quad (7)$$

где ω_{-1} – нижняя частота режекции в полосе запирания фильтра; ω_{+1} – верхняя частота режекции в полосе запирания фильтра.



Для устранения частотной дисперсии результирующего коэффициента связи двух контуров (рис. 1, *б* и *в*) применяют комбинированную связь между контурами [1, 2]. Индуктивную связь дополняют внешней емкостной связью, как показано на рис. 2.

Рис. 2. Двухконтурный модуль эллиптического фильтра с комбинированной связью

Результирующий частотно-зависимый коэффициент связи двух контуров рассчитывается по выражению

$$k(\omega)=\frac{k_L(\omega)+k_C(\omega)}{1+k_L(\omega)k_C(\omega)}, \quad (8)$$

где $k_L(\omega)=\frac{L_{12}}{\sqrt{L_1L_2}}\cdot\frac{2}{1+\omega_0^{-2}\omega^2}$, $k_C(\omega)=\frac{-C_{12}}{\sqrt{(C_1+C_{12})(C_2+C_{12})}}\cdot\frac{2}{1+\omega_0^2\omega^{-2}}$ – соответственно индуктивный и емкостной коэффициенты связи.

Как известно [2], частотная дисперсия результирующего коэффициента связи существенно снижается при выполнении условия

$$\left|k_L(\omega_0)\right|=\left|k_C(\omega_0)\right|. \quad (9)$$

Приведенные выше соотношения (2)–(9) позволяют определить значения элементов двухконтурного модуля для любых исходных данных. Результаты расчета амплитудно-частотной характеристики двухконтурного модуля, выполненного по схеме рис. 2, представлены на рис. 3.

Анализ рис. 3 показывает, что предложенный метод построения эллиптических фильтров позволяет получить достаточно симметричную форму АЧХ. Кроме того, как следует из данных, приведенных на рис. 2, исследованный узкополосный двухконтурный модуль обладает хорошей физической реализуемостью в дециметровом диапазоне.

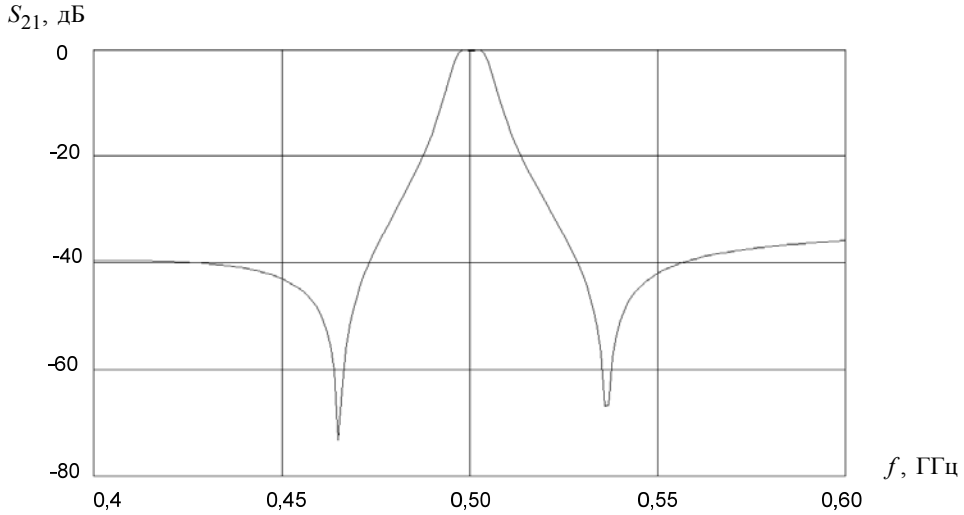


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика двухконтурного модуля с комбинированной связью

Заключение. Применение комбинированной связи в двухконтурных фильтровых модулях позволяет получить эллиптическую форму АЧХ и произвольно выбирать частоты режекции в соответствии с техническими требованиями. Достоинством фильтров на связанных контурах, в том числе с комбинированной связью, является обеспечение минимальных массогабаритных показателей при уровне мощности СВЧ сигнала от единиц мВт до 10 Вт в метровом и дециметровом диапазоне. При каскадном включении нескольких модулей существенно увеличивается внеполосное подавление, при этом сохраняются заданные частоты режекции. Предложенная структура может использоваться в качестве сосредоточенного прототипа для микрополосковой реализации в верхней части дециметрового диапазона.

Литература

1. Тюрнев В.В. Влияние соотношения индуктивной и емкостной составляющих коэффициентов связи резонаторов на величины этих коэффициентов в настроенном фильтре сверхвысоких частот // Материалы международной конференции АПЭП. – Новосибирск, 2008. – Т. 4. – С. 97–100.

2. Беляев Б.А. Частотно-зависимые коэффициенты связи микрополосковых резонаторов / Б.А. Беляев, В.В. Тюрнев // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. – 1992. – Вып. 4 (422). – С. 23–27.

Абросимов Артём Александрович
Аспирант каф. теоретических основ радиотехники
Новосибирского гос. технического университета (ТОР НГТУ)
Тел.: 8-913-982-12-20
Эл. почта: Abrosimovartem@mail.ru

Разинкин Владимир Павлович
Профессор каф. ТОР НГТУ
Тел.: 8 (383) 346-08-34
Эл. почта: razinkin_vp@mail.ru

Abrosimov A.A., Razinkin V.P.
Lumped-element elliptic filters

This research paper offers the description of design technique of lumped-element elliptic band-pass filters which can be applied for RF channel of telecommunication systems and digital data transmission systems. The technique offered in the paper provides high physical feasibility of elements and high filters selectivity which is caused by dual-mode resonant circuits deployment.
Keywords: filter, amplitude-frequency response, coupling factor.