

# КАСКАДИРОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ФИЛЬТРОВ НА ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРАХ

Б.А. Беляев, Н.А. Дрокин, В.Н. Шепов

Институт Физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Академгородок, Красноярск, 660036, Россия  
тел.: 3912-494591, e-mail: belyaev@iph.krasn.ru

**Аннотация** – Показана возможность повышения избирательности и увеличения затухания сигнала в полосе заграждения микрополосковых фильтров на четвертьволновых резонаторах путем их каскадного соединения. Установлено, что у каскадного соединения двух двухзвенных микрополосковых фильтров селективные свойства лучше, чем у одного четырехзвенного фильтра на идентичных резонаторах. Согласование фильтров при каскадировании обеспечивается выбором кондуктивной связи между выходным резонатором первого фильтра и входным - второго.

## I. Введение

Как известно, избирательность фильтров, в том числе и микрополосковых, зависит от многих параметров: от собственной добротности резонаторов  $Q_0$ , от количества звеньев в фильтре, от ширины полосы пропускания, от неравномерности АЧХ в полосе пропускания и т.д. Для оценки селективных свойств фильтров удобно использовать коэффициенты крутизны низкочастотного  $K_l$  и высокочастотного  $K_h$  склонов АЧХ [1].

$$K_l = \frac{\Delta f_3 / 2}{\Delta f_l - \Delta f_3 / 2}, \quad K_h = \frac{\Delta f_3 / 2}{\Delta f_h - \Delta f_3 / 2}, \quad (1)$$

где  $\Delta f_3$  – ширина полосы пропускания фильтра по уровню –3 дБ от уровня минимальных потерь, а  $\Delta f_l$  и  $\Delta f_h$  – ширины полос пропускания, измеренные по уровню –30 дБ, соответственно, влево или вправо от центральной частоты  $f_0$ .

Обычно для увеличения крутизны склонов АЧХ и увеличения затухания в полосах заграждения увеличивают число звеньев в фильтре, что соответственно усложняет их настройку и снижает технологичность в производстве. Тем не менее, в традиционных многозвенных микрополосковых фильтрах, из-за “паразитного” прохождения мощности со “входа” на “выход”, сложно получить высокое затухание сигнала в полосах заграждения. Перечисленные трудности можно обойти использованием каскадного соединения микрополосковых фильтров с меньшим числом звеньев [2]. Однако при каскадировании фильтров на полуволновых резонаторах обычно используют оптимальную емкостную связь между фильтрами. В противном случае появляются паразитные резонансы ниже полосы пропускания.

В настоящей работе рассматривается каскадное соединение микрополосковых фильтров на четвертьволновых резонаторах, связь между которыми осуществляется простым кондуктивным соединением.

## II. Модель и метод расчета

В качестве объекта для исследования был выбран двухзвенный микрополосковый фильтр с произвольной длиной области связи резонаторов, топология проводников которого показана на рис. 1. Такая конструкция достаточно миниатюрна на стыке метрового и дециметрового диапазонов длин волн, а также позволяет получать устройства с высокой крутизной низкочастотного склона АЧХ и высоким уровнем ослабления сигнала на частотах ниже полосы

пропускания при сравнительно широкой относительной полосе пропускания.

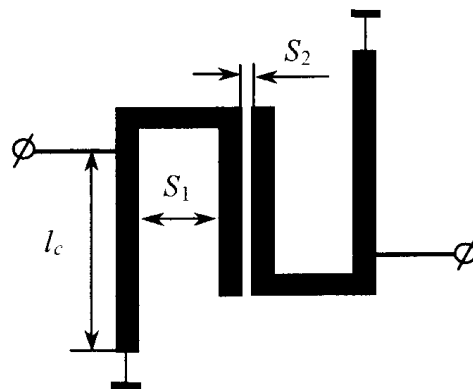


Рис. 1. Конструкция микрополоскового фильтра.

Fig. 1. Structure of microstrip filter.

Расчет характеристик исследуемого фильтра проводился на одномерной модели, составленной из последовательно соединенных отрезков одиночных и связанных микрополосковых линий, параметры которых вычислялись в квазистатическом приближении. Хорошее согласие расчета и эксперимента доказывает правомерность такого подхода. Синтез фильтров осуществлялся на специализированной экспертной системе FILTEX [3].

В качестве подложки для микрополосковых фильтров использовалась керамика ТБНС, имеющая диэлектрическую проницаемость  $\epsilon=80$  и стандартную толщину  $h=2$  мм. Ширина полосковых проводников выбиралась одинаковой для всех регулярных участков  $w=1$  мм. Ширина полосы пропускания фильтра определялась зазором между резонаторами  $S_2$ . Величина обратных потерь в полосе пропускания устанавливалась на уровне –14 дБ точкой подключения резонатора к внешним линиям передачи  $l_c$ .

## III. Эксперимент

На рис. 2 приведены измеренные амплитудно-частотные характеристики фильтра скаскадированного из двух двухзвенных фильтров и монолитного фильтра, состоящего из четырех резонаторов. При каскадировании, каждый из фильтров был изготовлен на отдельной подложке, а их соединение осуществлялось индуктивной перемычкой. Все фильтры настроены на частоту  $f_0=330$  МГц и имеют одинаковую ширину относительной полосы пропускания, измеренной по уровню –3 дБ  $\Delta f_3/f_0=20\%$ .

Из рис. 2 видно, что скаскадированный фильтр имеет не только большее затухание в полосах заграждения, но и большую крутизну склонов АЧХ. Коэффициенты крутизны, вычисленные по формулам (1), для скаскадированного фильтра равны:  $K_l=1.75$ ,  $K_h=0.43$ , а для монолитного фильтра  $K_l=1.17$ ;  $K_h=0.35$ . Очевидно, что возможно каскадирование аналогичных фильтров и с большим числом звеньев. На рис. 3 представлены частотные зависимости прямых (черные точки) и обратных (белые) потерь

# CASCADING MICROSTRIP FILTERS BASED ON QUARTER-WAVE RESONATORS

B.A. Belyaev, N.A. Drokin, V.N. Shepov  
Institute of Physics,  
Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia  
e-mail: belyaev@iph.krasn.ru

**Abstract** - The possibility of increasing the selectivity and magnification of signal attenuation in stop-bands of microstrip filters based on quarter-wave resonators by their cascade connection is shown.

## I. Introduction

Usually, to increasing the steepness of filter skirt and to magnify the attenuation in stop-bands a number of resonators is increased in filters, that accordingly complicates their adjustment and reduces adaptability to manufacture in production. Moreover, in the case of traditional multi-pole microstrip filters it is complicated to obtain high damping of a signal in stop-bands, because of «parasitic» MW transmission from «input» to «output». The listed difficulties can be bypassed by use of a cascade connection of microstrip filters with small number of resonators [2].

In the present work the cascade connection of microstrip filters based on quarter-wave resonators is considered, when coupling between these filters is carried out through simple conductive connection.

## II. Results

The microstrip two-pole filter whose conductor pattern is shown in Fig. 1 was investigated. Such structure allows to obtain a device with high steepness of low-frequency slope of filter skirt and high level of signal attenuation at frequencies below the passband. The synthesis of filters was carried out by means of specialized expert system FILTEX [3].

In Fig. 2 the measured frequency responses of the filter obtained by cascading two two-pole filters and of monolithic filter consisting of four resonators are represented. Before cascading each of filters was made on a separate substrate, and their connection was carried out by small inductive jumper. All filters were adjusted on center frequency  $f_0 = 330$  MHz and had identical fractional bandwidths  $\Delta f_0/f_0 = 20\%$  measured at the level -3 dB. It is seen, that cascaded filter has not only greater attenuation in stop-bands, but also steeper filter skirt slopes. The factors of the skirt slopes steepness calculated by the formulas (1) for cascaded filter are  $K_l = 1.75$ ,  $K_h = 0.43$ , and for the monolithic filter  $K_l = 1.17$ ;  $K_h = 0.35$ .

Obviously, it is possible to cascade similar filters with more large number of resonators. In Fig. 3 there are represented frequency responses of direct (black points) and return (white) losses of the filter obtained by cascade connection of two six-resonator filters. In this case: the center frequency  $f_0 = 389$  MHz,  $\Delta f_0/f_0 = 30\%$ ,  $K_l = 5.1$ ,  $K_h = 4.4$ . Factors of steepness for single six-resonator filter are  $K_l = 2.3$ ,  $K_h = 2.2$ .

## III. Conclusion

Thus, in the present work it is shown, that the cascade connection of microstrip filters based on quarter-wave resonators is an effective method to increase selectivity and to magnify signal attenuation in stop-bands. Hard advantage of cascade connection of filters based on the quarter-wave resonators is the simplicity of matching the filters one to another.

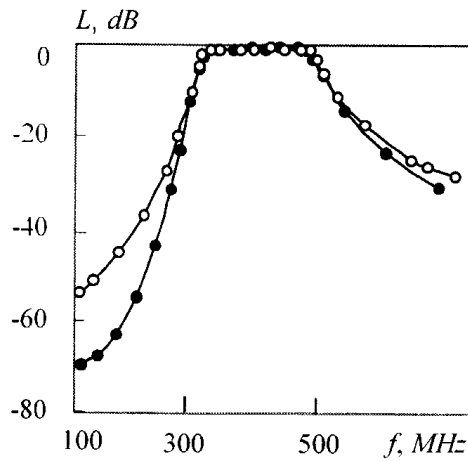


Рис. 2. АЧХ четырехзвенного (светлые точки) и каскадированного (темные точки) фильтров.

Fig. 2. Frequency responses of four-resonator (light points) and cascaded (dark points) filters.

фильтра, полученного каскадным соединением двух шестирезонаторных фильтров. При этом центральная частота полосы пропускания  $f_0 = 389$  MHz,  $\Delta f_0/f_0 = 30\%$ ,  $K_l = 5.1$ ,  $K_h = 4.4$ . Коэффициенты крутизны АЧХ для одиночного шестизвенного фильтра  $K_l = 2.3$ ,  $K_h = 2.2$ .

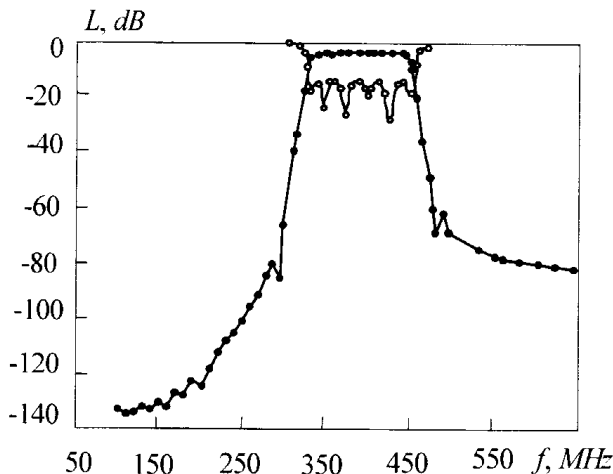


Рис. 3. Зависимости прямых и обратных потерь фильтра, каскадированного из двух шестизвенных.

Fig. 3. Frequency responses of direct and return losses of the filter obtained by cascading two six-resonator filters.

## IV. Заключение

Таким образом, в настоящей работе показано, что каскадное соединение микрополосковых фильтров на четвертьволновых резонаторах является эффективным методом для повышения избирательности и увеличения затухания сигнала в полосе заграждения. Важным преимуществом каскадного соединения фильтров на четвертьволновых резонаторах является простота согласования фильтров друг с другом.

## V. Список литературы

- [1] Беляев Б.А., Лексиков А.А., Никитина М.И., Тюрнев В.В. // РТЭ, Т.45, № 8, 2000, С. 910-917.
- [2] Александровский А.А., Беляев Б.А., Лексиков А.А. Каскадное соединение двухзвенных микрополосковых фильтров на резонаторах со шлейфовыми элементами, Труды 5<sup>ой</sup> международной конференции АПЭП, Новосибирск, 2000г., Т. 7, с. 124-125.
- [3] Беляев Б.А., Никитина М.И., Ноженкова Л.Ф., Тюрнев В.В. // Изв. АН. Теория и системы управления, № 2, 2000, с. 96-102.