

УДК 621.372.543

## МИКРОВОЛНОВЫЕ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ ПОЛОСКОВОЙ КОНСТРУКЦИИ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ СВЯЗЯМИ

А. В. ЗАХАРОВ, М. Е. ИЛЬЧЕНКО, А. И. ЛЫСЕНКО, Л. С. ПИНЧУК

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»,  
Украина, Киев, 03056, пр-т Победы 37*

**Аннотация.** Показана принципиальная возможность построения гребенчатых фильтров полосковой конструкции с чередующимися знаками коэффициентов связи. Установлена новая особенность ступенчато-импедансных полосковых резонаторов четвертьволнового типа, обеспечивающая им противоположные знаки коэффициентов электромагнитной связи со смежными резонаторами. Такие резонаторы являются несимметричными относительно вертикальной оси, проведенной через их середину. В полосковых полосно-пропускающих фильтрах с чередующимися знаками коэффициентов связи имеются полюсы затухания, расположенные слева и справа от полосы пропускания, что улучшает их избирательность. Приведены измеренные характеристики миниатюрного полоскового гребенчатого фильтра четвертого порядка с чередующимися связями, который имеет центральную частоту  $f_0 = 1835$  МГц и ширину полосы пропускания 90 МГц. Фильтр выполнен на диэлектрическом материале с  $\epsilon_r = 92$  и имеет размер  $7,4 \times 4,2 \times 2$  мм.

**Ключевые слова:** гребенчатый фильтр; полосковая конструкция; ступенчато-импедансный резонатор; коэффициент электромагнитной связи; полоса пропускания; полюс затухания

### ВВЕДЕНИЕ

Микроволновые полосно-пропускающие фильтры являются одними из основных элементов радиотехнической аппаратуры [1, 2]. В таких фильтрах в качестве резонаторов используются отрезки различных передающих линий, что приводит к отличиям в их конструктивном исполнении. Различают микроволновые фильтры на коаксиальных диэлектрических резонаторах [3], многослойные керамические фильтры, изготовленные по технологии LTCC (low-temperature co-fired ceramic) [4, 5], моноблочные фильтры [3, 6]. В указанных фильтрах используются четвертьволновые  $\lambda/4$  резонаторы, которые могут быть укорочены сосредоточенной емкостью. Для уменьшения их габаритов применяются керамические ма-

териалы с высокой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 40-100$ .

Перечисленные фильтры широко применяются в сотовой телефонии, телефонных аппаратах и базовых станциях. Благодаря повышенному спросу, малогабаритные микроволновые фильтры, особенно моноблочные, выпускаются большими объемами высокотехнологичными компаниями, такими, например, как Murata (Япония) [7], CTS Corporation (США) [8].

Основной прогресс в миниатюризации микроволновых фильтров достигнут благодаря созданию керамических материалов с высоким значением  $\epsilon_r$ , которые имеют малые диэлектрические потери и высокую температур-

DOI: [10.20535/S0021347017040033](https://doi.org/10.20535/S0021347017040033)

© А. В. Захаров, М. Е. Ильченко, А. И. Лысенко, Л. С. Пинчук, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маттей, Г. Л.; Янг, Л.; Джонс, Е. М. Т. *Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи*. Пер. с англ. — М. : Связь, 1971.
2. Hong, J.-S. *Microstrip Filters for RF / Microwave Application*, 2nd ed. — N.Y. : Wiley, 2011.
3. Makimoto, M.; Yamashita, S. *Microwave Resonators and Filters for Wireless Communication. Theory, Design and Application*. — Springer, 2001. — DOI : [10.1007/978-3-662-04325-7](https://doi.org/10.1007/978-3-662-04325-7).

4. Ishizaki, T.; Fujita, M.; Kagata, H.; Uwano, T.; Miyake, H. A very small dielectric planar filter for portable telephones. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* — Vol. 42, No. 11. — P. 2017–2022. — 1994. — DOI : [10.1109/22.330112](https://doi.org/10.1109/22.330112).
5. Yeung, L. K.; Wu, K. L.; Wang, Y. E. Low-temperature cofired ceramic LC filters for RF applications. *IEEE Microwave Magazine.* — Vol. 9, No. 5. — P. 118–128. — 2008. — DOI : [10.1109/MMM.2008.927634](https://doi.org/10.1109/MMM.2008.927634).
6. Fukasawa, A. Analysis and composition of a new microwave filter configuration with inhomogeneous dielectric medium. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* — 1982. — Vol. 30, No. 9. — P. 1367–1375. — DOI : [10.1109/TMTT.1982.1131262](https://doi.org/10.1109/TMTT.1982.1131262).
7. <http://www.murata.com>.
8. <http://www.ctscorp.com>.
9. Dworsky, L. N. Stripline filters - An overview. *Proc. of 37th Annual Symp. on Frequency Control*, 1–3 Jul. 1983. — IEEE, 1983. — P. 387–393. — DOI : [10.1109/FREQ.1983.200697](https://doi.org/10.1109/FREQ.1983.200697).
10. Захаров, А.В.; Ильченко, М.Е.; Карнаух, В.Я.; Пинчук, Л.С. Полосковые полосно-пропускающие фильтры со ступенчатыми резонаторами. *Известия вузов. Радиоэлектроника.* — 2011. — Т. 54, № 3. — С. 56–63. — Режим доступа : <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347011030071>.
11. Захаров, А.В.; Ильченко, М.Е.; Пинчук, Л.С. Зависимость коэффициента связи между четвертьволновыми резонаторами от параметров гребенчатых полосковых фильтров. *Известия вузов. Радиоэлектроника.* — 2015. — Т. 58, № 6. — С. 52–60. — DOI : [10.20535/S0021347015060060](https://doi.org/10.20535/S0021347015060060).
12. Захаров, А.В.; Ильченко, М.Е. Полосно-пропускающие фильтры решетчатого типа на основе полуволновых резонаторов из отрезков симметричных полосковых линий передачи. *Радиотехника и электроника.* — 2015. — Т. 60, № 7. — С. 759–765. — DOI : [10.7868/S0033849415060182](https://doi.org/10.7868/S0033849415060182).
13. Захаров, А.В. Полосковые гребенчатые фильтры на керамических материалах с высокой диэлектрической проницаемостью. *Радиотехника и электроника.* — 2013. — Т. 58, № 3. — С. 300–308. — DOI : [10.7868/S0033849413030145](https://doi.org/10.7868/S0033849413030145).
14. Захаров, А.В.; Ильченко, М.Е. Тонкие полосно-пропускающие фильтры, содержащие отрезки симметричных полосковых линий передачи. *Радиотехника и электроника.* — 2013. — Т. 58, № 7. — С. 716–725. — DOI : [10.7868/S0033849413060156](https://doi.org/10.7868/S0033849413060156).
15. Захаров, А.В.; Ильченко, М.Е.; Корпач, В.Н. Особенности коэффициентов связи планарных ступенчато-импедансных резонаторов на высших резонансных частотах и их использование для подавления паразитных полос пропускания. *Радиотехника и электроника.* — 2014. — Т. 59, № 6. — С. 602–608. — DOI : [10.7868/S0033849414060229](https://doi.org/10.7868/S0033849414060229).
16. Захаров, А.В.; Ильченко, М.Е.; Пинчук, Л.С. Коэффициенты связи между ступенчато-импедансными резонаторами в полосковых полосно-пропускающих фильтрах решетчатого типа. *Известия вузов. Радиоэлектроника.* — 2014. — Т. 57, № 5. — С. 35–44. — Режим доступа : <http://radio.kpi.ua/article/view/S0021347014050045>.
17. Мегла, Г. *Техника дециметровых волн.* Пер. с немецкого. — М. : Сов. радио, 1958.
18. *Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств.* Под ред. В.И. Вольмана. — М. : Радио и связь, 1982.
19. *Справочник по элементам полосковой техники.* Под ред. А.Л. Фельдштейна. — М. : Связь, 1979.
20. Pfitzenmaier, G. Synthesis and realization of narrow-band canonical microwave bandpass filters exhibiting linear phase and transmission zeros. *IEEE Trans. IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* — 1982. — Vol. 30, No. 9. — P. 1300–1311. — DOI : [10.1109/TMTT.1982.1131252](https://doi.org/10.1109/TMTT.1982.1131252).
21. Hong, J.-S.; Lancaster, M. J. Design of highly selective microstrip bandpass filters with a single pair of attenuation poles at finite frequencies. *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* — 2000. — Vol. 48, No. 7. — P. 1098–1107. — DOI : [10.1109/22.848492](https://doi.org/10.1109/22.848492).

Поступила в редакцию ? По-сле переработки