

УДК 621.372.543

ПОЛОСКОВЫЕ ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ МАЛОЙ ТОЛЩИНЫ ДЛЯ САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

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

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

Аннотация. Рассмотрены вопросы построения тонких (1 мм) полосковых полосно-пропускающих фильтров сантиметрового диапазона, содержащих диэлектрики с различной относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_r . Они затрагивают выбор резонаторов, диэлектрического материала, предварительную оценку ненагруженной добротности резонаторов, учет особенностей частотных характеристик фильтров. Установлено, что ширина полосы пропускания тонких гребенчатых фильтров с $\lambda/4$ резонаторами и решетчатых с $\lambda/2$ резонаторами не может превышать 6% при любых значениях ϵ_r и длине резонаторов не менее 2 мм. Предложены решетчатые фильтры с резонаторами полуволнового типа, у которых знаки коэффициентов связи между резонаторами чередуются. При некоторых дополнительных условиях у таких фильтров появляются полюсы затухания, что приводит к улучшению избирательности. Приведены результаты компьютерного моделирования частотных характеристик тонких фильтров сантиметрового диапазона, проведено их сравнение с характеристиками других фильтров. Экспериментальные данные и данные компьютерного моделирования показали хорошее соответствие друг другу.

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

ВВЕДЕНИЕ

Полосно-пропускающие фильтры являются одними из основных элементов радиотехнической аппаратуры СВЧ диапазона [1, 2]. Наибольшим спросом пользуются малогабаритные фильтры. К их числу относятся фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ) [3], фильтры на коаксиальных диэлектрических резонаторах [2], моноблочные керамические фильтры с рядом резонансных отверстий [4]. Перечисленные фильтры выпускаются в больших объемах высокотехнологичными компаниями мира. Заслуживают внимания микрополосковые фильтры [5–7]. Если толщина диэлектрической подложки h , а металличе-

ский экран располагать над подложкой на удалении $(1...2)h$, то размеры микрополосковых фильтров могут быть компактными [6].

Фильтрам присущи частотные ограничения. Например область рабочих частот фильтров на ПАВ ограничена 2,7 ГГц [8] и они не могут быть использованы в сантиметровом диапазоне. В фильтрах на коаксиальных диэлектрических резонаторах и в моноблочном исполнении применяется микроволновая керамика со сравнительно высокой относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_r . Поэтому такие фильтры используются только в низкочастотной части сантиметрового диапазона до 6 ГГц включительно [9].

DOI: [10.20535/S0021347017020030](https://doi.org/10.20535/S0021347017020030)

© А. В. Захаров, М. Е. Ильченко, 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. 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).
3. Morgan, D.; Paige, E. G. S. *Surface Acoustic Wave Filters: With Applications to Electronic Communications and Signal Processing*. — Academic Press, 2010. — ISBN : 978-0-12-372537-0.
4. 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).

5. Hong, J.-S. *Microstrip Filters for RF / Microwave Application*, 2nd ed. — N.Y. : Wiley, 2011.
6. Захаров, А.В.; Розенко, С.А.; Захарова, Н.А. Микрополосковые полосно-пропускающие фильтры на подложках с высокой диэлектрической проницаемостью. *Радиотехника и электроника*. — 2012. — Т. 57, № 3. — С. 372–382. — Режим доступа : <http://elibrary.ru/item.asp?id=17647462>.
7. Захаров, А.В.; Ильченко, М.Е. Новый подход к построению фильтров, перестраиваемых варикапами. *Радиотехника и электроника*. — 2010. — Т. 55, № 12. — С. 1523–1531. — Режим доступа : <http://elibrary.ru/item.asp?id=15524126>.
8. <http://www.nxp.com>.
9. <http://www.murata.com>.
10. *Справочник по элементам полосковой техники*. Под ред. А.Л.Фельдштейна. — М. : Связь, 1979.
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. *Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств*. Под ред. В.И.Вольмана. — М. : Радио и связь, 1982.
14. <https://www.rogerscorp.com>.
15. 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>.
16. 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).
17. Мегла, Г. *Техника дециметровых волн*. Пер. с немецкого. — М. : Сов. радио, 1958.
18. Chen, Y.-M.; Chang, S.-F.; Chang, C.-C.; Hong, T.-J.; Lo, W.-C. A compact step-impedance combline filter with symmetric insertion-loss response and wide stopband range. In: *Proc. of IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, 11–16 Jun. 2006, San Francisco, CA. — IEEE, 2006. — P. 1209–1212. — DOI : [10.1109/MWSYM.2006.249427](https://doi.org/10.1109/MWSYM.2006.249427).
19. 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>.
20. 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).
21. <http://www.ctscorp.com>.

Поступила в редакцию 31.03.2016

После переработки 10.12.2016
