

# Полосно-пропускающие СВЧ-фильтры производства НПФ «Микран»

Максим ШЕВЛЯКОВ  
Алексей КОНДРАТЕНКО  
alkon@micran.ru

Представлен краткий обзор полосно-пропускающих фильтров (ППФ) СВЧ, разработанных и производимых в ЗАО «НПФ Микран» (г. Томск). На качественном уровне рассмотрены их основные достоинства и недостатки с точки зрения электрических характеристик и массо-габаритных показателей. Приведены примеры топологической и конструктивной реализации.

Научно-производственная фирма «Микран» образована в апреле 1991 г. сотрудниками лаборатории СВЧ-усилителей Томского университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР). Одним из основных направлений деятельности фирмы является исследование, разработка и производство модулей и узлов СВЧ-диапазона, в том числе и частотно-селективных устройств.

Частотно-селективные устройства являются неотъемлемой составной частью любой системы связи. При этом с возрастанием сложности систем связи требования к электрическим и массо-габаритным параметрам устройств частотной селекции постоянно ужесточаются. В данной статье приводятся результаты разработок ППФ, которые являются одним из базовых элементов системы частотной селекции в радиотехнической аппаратуре.

На рис. 1 приведена схема, характеризующая систему обозначений фильтров, выпускаемых ЗАО «НПФ Микран».

Классификатор характеризует только вариант конструктивного исполнения и гра-

ничные частоты полосы пропускания фильтров. Основные требования к электрическим характеристикам (КСВн и уровень потерь в полосе пропускания, подавление на заданных отстройках, требования к паразитным полосам), а также к габаритным параметрам (ограничение размеров, тип и положение разъемов и др.) в классификатор не включены и оговариваются отдельно в каждом конкретном случае.

## Варианты топологического и конструктивного исполнения ППФ

### Микрополосковые фильтры

Основными достоинствами данного конструктивного исполнения являются предельно малые габаритные размеры, а также возможность размещения таких функциональных узлов (например, конвертеров), изготавливаемых по технологии ГИС. Главным недостатком — относительно низкая добротность резонаторных элементов ( $Q \approx 200-250$ ),

вследствие чего узкополосные микрополосковые фильтры имеют достаточно большие потери в полосе пропускания. На рис. 2 приведены топологии основных типов микрополосковых ППФ. В качестве материала подложек используется поликор ВК-100 ( $\epsilon = 9,8$ ).

Основные электрические характеристики данных фильтров (центральная частота на-

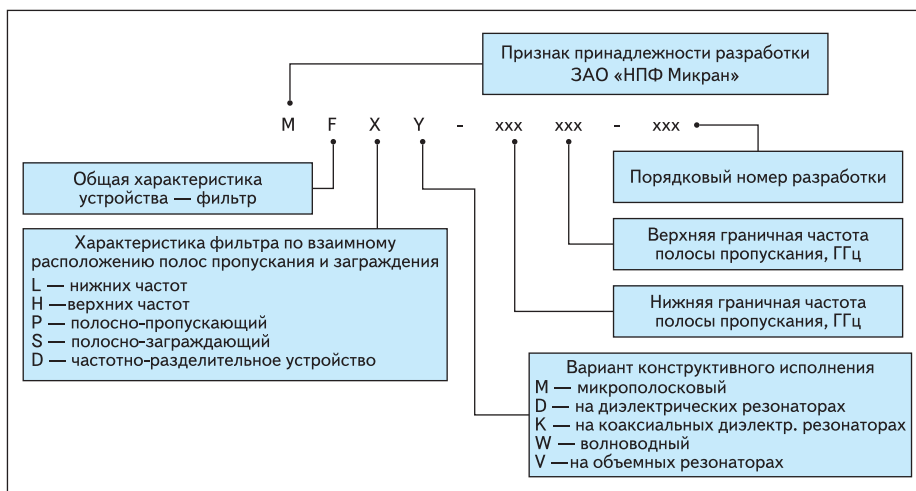


Рис. 1. Система обозначений фильтров, выпускаемых ЗАО «НПФ Микран»

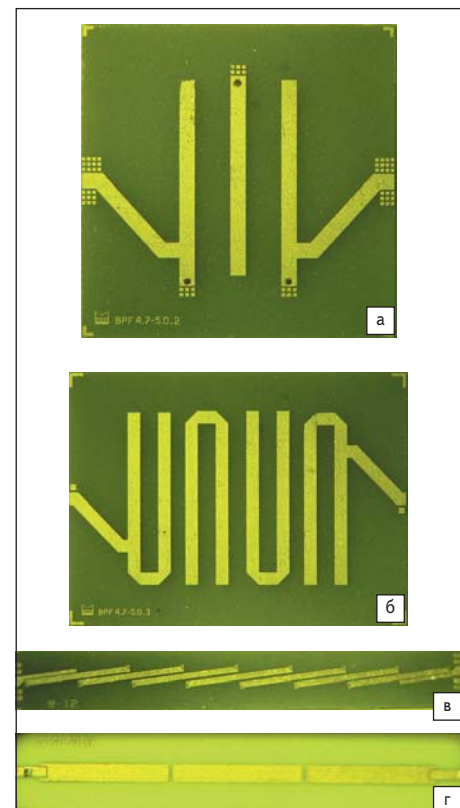


Рис. 2. Топологии основных типов микрополосковых ППФ:  
а) ППФ на встречных линиях MFPM-047050-01;  
б) ППФ на «шпильках» MFPM-047050-02;  
в) ППФ на полуволновых резонаторах с боковой связью MFPM-0812-01;  
г) ППФ на полуволновых резонаторах с торцевой связью MFPM-362400-00

Таблица 1. Основные электрические характеристики микрополосковых фильтров

	$f_0$ , ГГц	$\Delta f$ , ГГц	$L_0$ , дБ	$K_{П(НдБ)}$	Размер подложки, мм
MFRM-047050-01	4,85	0,3	1,5	3,5 (по уровню -20 дБ)	9×9
MFRM-047050-02	4,85	0,3	2,5	2,7 (по уровню -30 дБ)	13×9
MFRM-0812-01	10	4	1,5	2,0 (по уровню -40 дБ)	3,5×25
MFRM-362400-00	36,6	0,8	3,0	3,0 (по уровню -20 дБ)	2,5×13

стройки  $f_0$ , ширина полосы пропускания  $\Delta f$ , затухание на центральной частоте  $L_0$  и коэффициент прямоуглоуности по уровню  $NдБ$   $K_{П(НдБ)}$ , а также размеры подложек приведены в таблице 1.

Современные системы связи, особенно спутниковые системы и системы связи с подвижными объектами, требуют наличия в своем составе миниатюрных узкополосных фильтров, для которых выдвигаются довольно жесткие требования к линейности фазовой характеристики (неравномерности группового времени задержки). В настоящее время разработаны новые топологии полосковых фильтров, которые при удовлетворении вышеуказанного требования обладают меньшими габаритными размерами по сравнению с классическими типами [1, 2]. В качестве примера на рис. 3 представлен разработанный ППФ на полуволновых резонаторах с перекрестной связью (в качестве материала подложки используется ФЛАН-10). Неравномерность группового времени задержки для данного фильтра существенно меньше, чем для классического фильтра на полуволновых связанных резонаторах.



Рис. 3. ППФ на полуволновых резонаторах с перекрестной связью MFRM-01170123-01 ( $f_0 = 1200$  МГц,  $\Delta f = 60$  МГц,  $L_0 \approx 2,5$  дБ,  $K_{П(-20дБ)} \approx 2,5$ , размер подложки 34×28 мм)

### Фильтры на диэлектрических резонаторах

По совокупности габаритных параметров и электрических характеристик эти ППФ занимают промежуточное положение между устройствами на полых металлических волноводах и устройствами на микрополосковых линиях. При этом фильтры на диэлектрических резонаторах (ДР) имеют наилучший показатель качества (наименьший габаритный индекс потерь) [3]. Примеры конструкций фильтров на ДР приведены на рис. 4.

Показанная на рис. 4а классическая конструкция с ДР цилиндрической формы, пла-

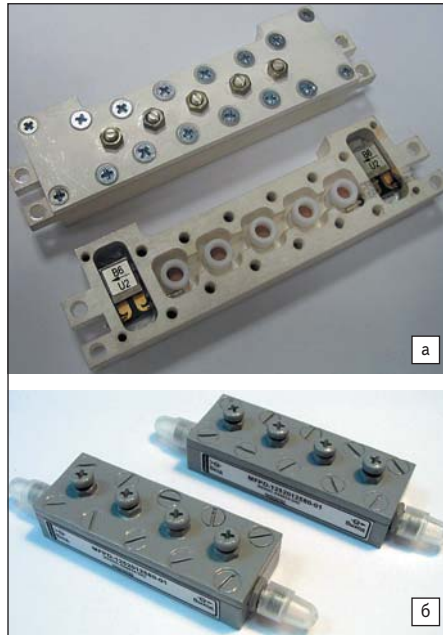


Рис. 4. Конструкции ППФ на диэлектрических резонаторах:  
а) направленный ППФ пятого порядка MFRM-09450949-02;  
б) ППФ четвертого порядка MFRM-12521258-01

нарно расположенными в канале прямоугольного сечения, дополнена диафрагмами, ограничивающими связь между резонаторами. Такое решение позволяет сократить расстояние между резонаторами и как следствие — уменьшить массо-габаритные показатели изделия.

Основные электрические характеристики данных фильтров приведены в таблице 2.

Таблица 2. Основные электрические характеристики фильтров на диэлектрических резонаторах

	$f_0$ , ГГц	$\Delta f$ , МГц	$L_0$ , дБ	$K_{П(НдБ)}$
MFRM-09450949-02	9,47	40	2,5	2,5 (по уровню -40 дБ)
MFRM-12521258-01	12,55	60	1,5	2,0 (по уровню -25 дБ)

### Фильтры на коаксиальных диэлектрических резонаторах

Из всего многообразия ДР в дециметровом,  $L$  и  $S$  диапазонах в последнее время все большее применение находят металлодиэлектрические резонаторы, называемые часто коаксиальными диэлектрическими резонаторами (КДР) [4]. Примеры конструкций ППФ на КДР прямоугольного и круглого сечений приведены на рис. 5.

Основные электрические характеристики данных фильтров приведены в таблице 3.

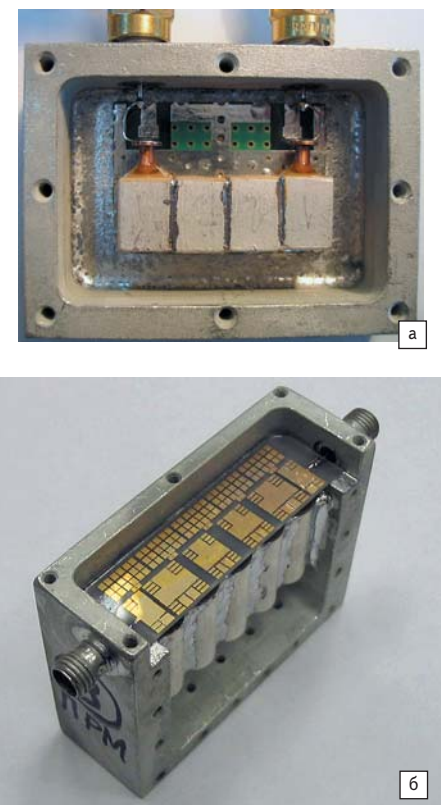


Рис. 5. Конструкции ППФ на КДР прямоугольного и круглого сечений:  
а) ППФ на КДР прямоугольного сечения с боковыми связями в виде диафрагм MFRM-0133401354-01;  
б) ППФ на КДР круглого сечения с внешними емкостными связями MFRM-0043400450-01

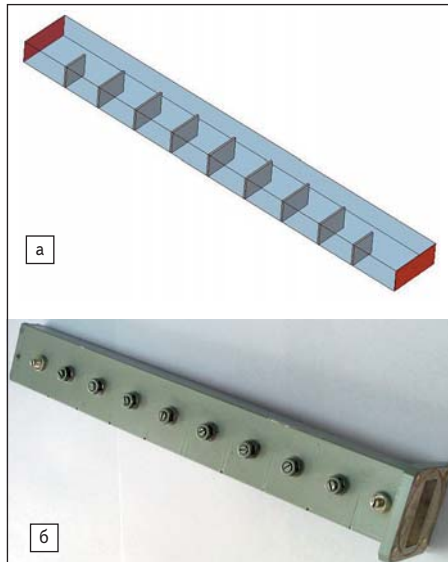
Таблица 3. Основные электрические характеристики фильтров на коаксиальных диэлектрических резонаторах

	$f_0$ , МГц	$\Delta f$ , МГц	$L_0$ , дБ	$K_{П(НдБ)}$
MFRM-0133401354-01	1344	25	2,0	3,0 (по уровню -25 дБ)
MFRM-0043400450-01	442	16	1,5	4,0 (по уровню -50 дБ)

Основным недостатком фильтров на ДР и КДР является возможность реализации только узкополосных фильтров (относительная ширина полосы пропускания которых составляет не более 5–7%).

### Волноводные фильтры

Если сравнивать известные СВЧ-фильтры, в которых формирование частотных характеристик осуществляется на основе классических волновых процессов, по минимуму потерь, то наилучшими показателями обладают волноводные фильтры. Данные фильтры хорошо зарекомендовали себя в стационарной аппаратуре, где требование минимальных потерь имеет более важное значение, чем габаритные и весовые показатели. На рис. 6 приведены трехмерная модель и конструкция волноводного ППФ.



**Рис. 6.** Волноводный ППФ MFPW-08100834-01 ( $f_0 = 8,22$  ГГц,  $\Delta f = 240$  МГц,  $L_0 \approx 1$  дБ,  $K_{П(-50дБ)} \approx 1,7$ ): а) трехмерная модель фильтра; б) конструкция фильтра

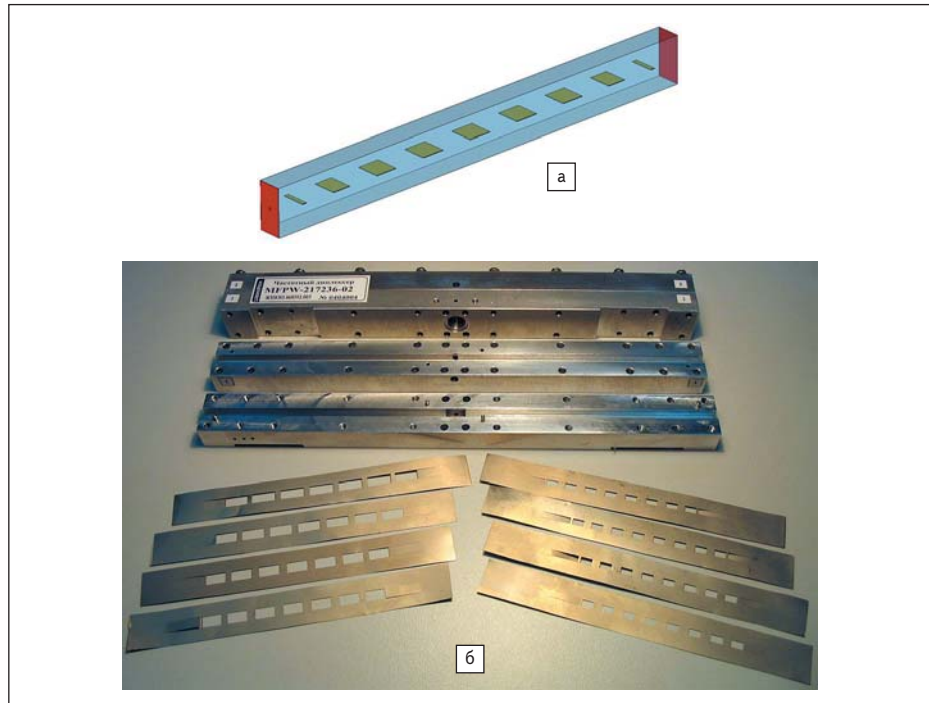
В данной конструкции роль элементов связи между резонаторами играют диафрагмы, расположенные параллельно силовым линиям электрического поля в прямоугольном волноводе. Основными достоинствами такой конструкции являются технологичность изготовления и простота настройки.

Развитие техники миллиметровых длин волн привело к переходу от традиционной волноводной технологии изготовления устройств к интегральной. В настоящее время элементы частотно-селектирующих устройств создаются на основе следующих линий передачи: регулярного прямоугольного волновода с продольно ориентированными в Е-плоскости неоднородностями различной формы, экранированных микрополосковых линий, диэлектрических волноводов. В качестве примера на рис. 7 приведены трехмерная модель и конструкция волноводных фильтров с диафрагмами в Е-плоскости.

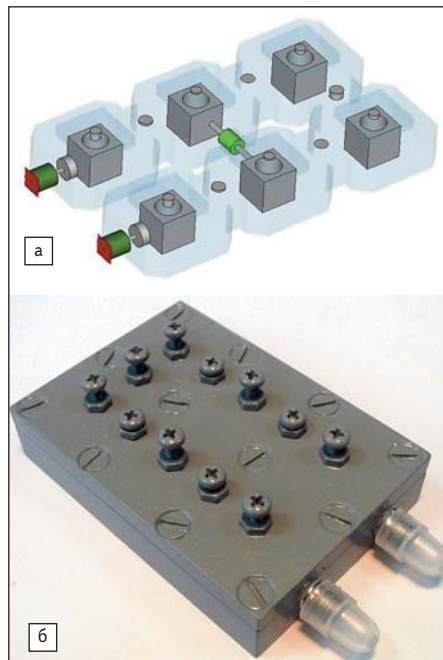
Подобные конструкции применяются для построения фильтров и диплексеров в диапазоне КВЧ. Преимуществом данных фильтров является отсутствие элементов подстройки, так как их применение на частотах выше 40 ГГц крайне затруднительно. Однако эта особенность накладывает достаточно высокие требования к точности изготовления как диафрагм, так и волноводного канала (допускается отклонение размеров от номинальных не более 15–20 мкм).

### Фильтры на объемных резонаторах

Данные фильтры обладают высокой температурной стабильностью электрических характеристик и малыми потерями в полосе пропускания. Среди данного класса, прежде всего, следует выделить гребенчатые фильт-



**Рис. 7.** Конструкция волноводных фильтров с диафрагмами в Е-плоскости: а) трехмерная модель фильтра; б) конструкция фильтра



**Рис. 8.** Гребенчатый ППФ на коаксиальных резонаторах с перекрестной связью MFPV-05530563-00 ( $f_0 = 5,58$  ГГц,  $\Delta f = 1040$  МГц,  $L_0 \approx 1,3$  дБ,  $K_{П(-50дБ)} \approx 2,3$ ): а) трехмерная модель фильтра; б) конструкция фильтра

ры, одним из основных достоинств которых является возможность реализации широких полос запираания (верхняя граница полосы запираания находится в пределах  $4f_0 \dots 7f_0$ , где  $f_0$  — средняя частота основной полосы пропускания). В данном конструктивном испол-

нении могут быть реализованы ППФ с относительной шириной полосы пропускания 2–75% [5].

В качестве примера на рис. 8 показаны трехмерная модель и конструкция гребенчатого ППФ на коаксиальных резонаторах. Сворачивание конструкции позволяет реализовать перекрестную связь с целью уменьшения неравномерности группового времени задержки.

Обзор, представленный в статье, отражает только основные направления в производстве полосно-пропускающих фильтров СВЧ.

### Литература

- Hong J., Lancaster M. J. Couplings of Microstrip Square Open-Loop Resonators for Cross-Coupled Planar Microwave Filters // IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 44, No. 12, December 1996.
- Hong J., 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., vol. 48, No. 17, July 2000.
- Безбородов Ю. М., Нарытник Т. Н., Федоров В. Б. Фильтры СВЧ на диэлектрических резонаторах. Киев: Техника, 1989.
- Безбородов Ю. М., Каленичий С. И., Нарытник Т. Н., Цикалов В. Г. Коаксиальные диэлектрические резонаторы и устройства на их основе // Электронная техника. Сер.1, СВЧ-техника. 1992. Вып. 2(1662).
- Hey-Shipton G. L. Combine Filters for Microwave and Millimeter-wave Frequencies: Part 1 // Watkins-Johnson Co. Tech-Notes, Vol. 17, No. 5, September/October 1990.