

*Кузьмич Д.В., Нецветаева П.В., Фирсенков А.И.  
ОАО «Завод Магнетон»*

## **Полосно-пропускающие фильтры L-диапазона на коаксиально-металлокерамических резонаторах из термостабильной керамики**

*Представлены результаты разработки выпускаемых образцов полосно-пропускающих СВЧ фильтров на объемных коаксиально-металлокерамических резонаторах из термостабильной керамики для поверхностного монтажа*

**Ключевые слова:** СВЧ, термостабильная керамика, объемные резонаторы, диэлектрические резонаторы, коаксиально-металлокерамические фильтры.

### **Введение**

Частотно-селективные устройства являются неотъемлемой составной частью радиоэлектронной аппаратуры для любых систем связи, локации, навигации и др. Полосно-пропускающие фильтры, используемые в современном оборудовании, должны одновременно отвечать ряду жестких требований: они должны обладать узкой полосой пропускания ( $1\div 10\%$ ), малыми массогабаритными характеристиками и минимальными вносимыми потерями в полосе пропускания, высокими значениями коэффициента затухания вне полосы, обладать механической прочностью и обеспечивать стабильную работу в широком диапазоне рабочих температур, что особенно важно для аппаратуры двойного назначения. Всем этим требованиям отвечают коаксиально-металлокерамические фильтры на основе микроволновой термостабильной керамики.

На сегодняшний день данный тип фильтров выпускается рядом мировых и отечественных производителей, такими как «Mini-Circuits» (США), «API Technologies» (США), «CTS» (США), «JQL Electronics» (Германия), «СКТБ РТ» (Россия), «ООО Транстрионика» (Россия), «НИИ Феррит-Домен» (Россия) и др.

ОАО «Завод Магнетон» владеет комплексной технологией разработки и производства микроволновых ферритов и изделий на их основе (фазовращатели, циркуляторы, вентили, фильтры), а также термостабильной керамики. Для расширения номенклатуры выпускаемых изделий «Завод Магнетон» в 2017 году провел работу по отработке технологии серийного прототипирования и производства фильтров на керамических и коаксиально-металлокерамических резонаторах из термостабильной керамики в диапазоне частот 1000-2000 МГц.

Отличительной особенностью выпускаемых ОАО «Завод Магнетон» коаксиально-металлокерамических фильтров является его конструкция, которая представляет из себя моноблок (рис. 1, а) и предполагает автоматический поверхностный монтаж на печатную плату путем пайки. Моноблочная конструкция фильтров имеет ряд преимуществ перед фильтрами на дискретных резонаторах (рис. 1, б), такие как малый вес и габариты и нет необходимости использовать дополнительную печатную плату, высокая технологичность изготовления и механическая прочность.

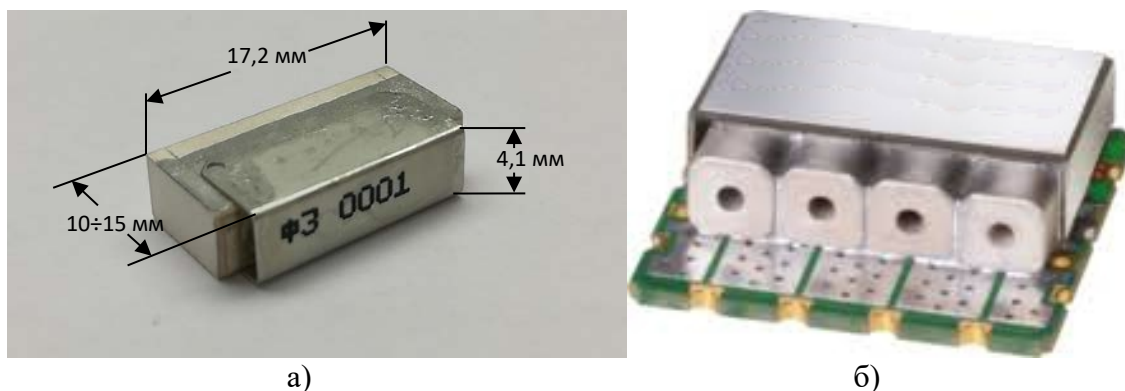


Рис. 1. Конструкции фильтров на коаксиально-металлокерамических резонаторах  
 а) выпускаемые фильтры моноблочного типа производства ОАО «Завод Магнетон»,  
 б) фильтр на дискретных резонаторах

### Выбор материала, моделирование, технология изготовления

Процесс изготовления фильтра начинается с этапа разработки модели фильтра, исходя из требований, заданных в ТЗ. Важным моментом является выбор керамического материала. В ряде выпускаемых ОАО «Завод Магнетон» СВЧ-диэлектриков отдельной группой можно выделить термостабильную микроволновую керамику. Материалы характеризуются высокой механической прочностью, химической и термической стойкостью, для их механической обработки используют алмазный инструмент и ультразвук. Серийно выпускаемая термостабильная керамика представлена марками ТК-20 и ТК-40, также в стадии разработки находится керамика марки ТК-70. Характеристики марок ряда ТК приведены в таблице 1.

Таблица 1 Характеристики термостабильных материалов ряда ТК

Марка	$\epsilon' \pm 5\%$	$\text{tg}\delta_{\epsilon} \times 10^4$	$\text{TK}_{\epsilon}' \times 10^6$ , ppm/°C	Частота измерений $\epsilon'$ и $\text{tg}\delta_{\epsilon}$ , ГГц	W, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
ТК-20	20	$\leq 4$	0±20	9,4	$\leq 0,05$	3,78
ТК-40	40	$\leq 4$	0±20	6,0	$\leq 0,05$	4,78
ТК-70*	65-70	$\leq 6$	0±20	3,5	$\leq 0,05$	5,65

Модель фильтра рассчитывается в САПР электромагнитного моделирования. В процессе изготовления керамических резонаторов-заготовок в модель вносится значение фактической диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, полученных путем измерения «свидетеля» по стандартным методикам согласно МЭК, изготовленного из той же партии шихты и по той же технологии, что и резонаторы-заготовки. Таким образом, при повторном моделировании с фактическими данными определяются конструктивные изменения, которые учитываются при металлизации керамических резонаторов. Это позволяет увеличить сходимость частотных характеристик модели и реального образца. Резонаторы изготавливаются по керамической технологии.

### Практические результаты

На рис. 2 представлены графики АЧХ модели и типичного образца выпускаемого фильтра с центральной частотой 1525 МГц, полосой пропускания 24 МГц и вносимыми потерями на центральной частоте 3.8 дБ. На рис. 3 приведены графики АЧХ того же образца в диапазоне температур от минус 60 С° до плюс 100 С°.

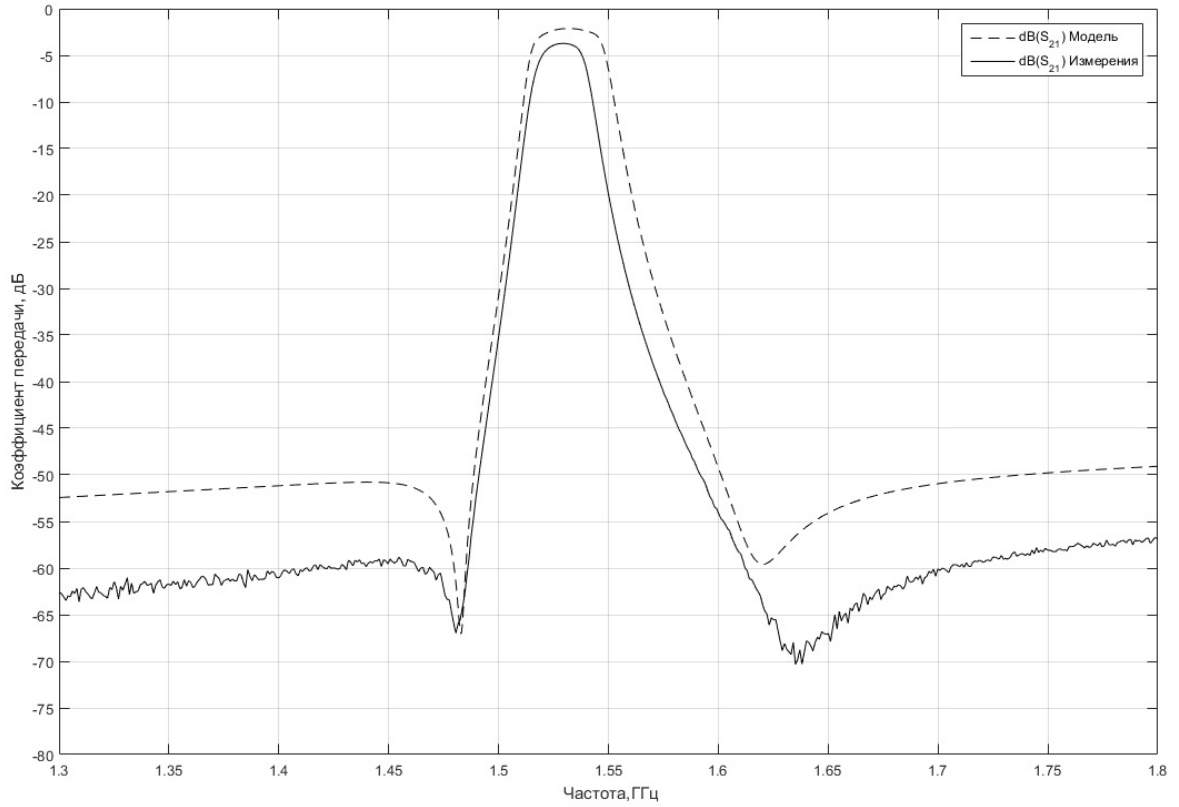


Рис. 2. Графики АЧХ модели и образца фильтра

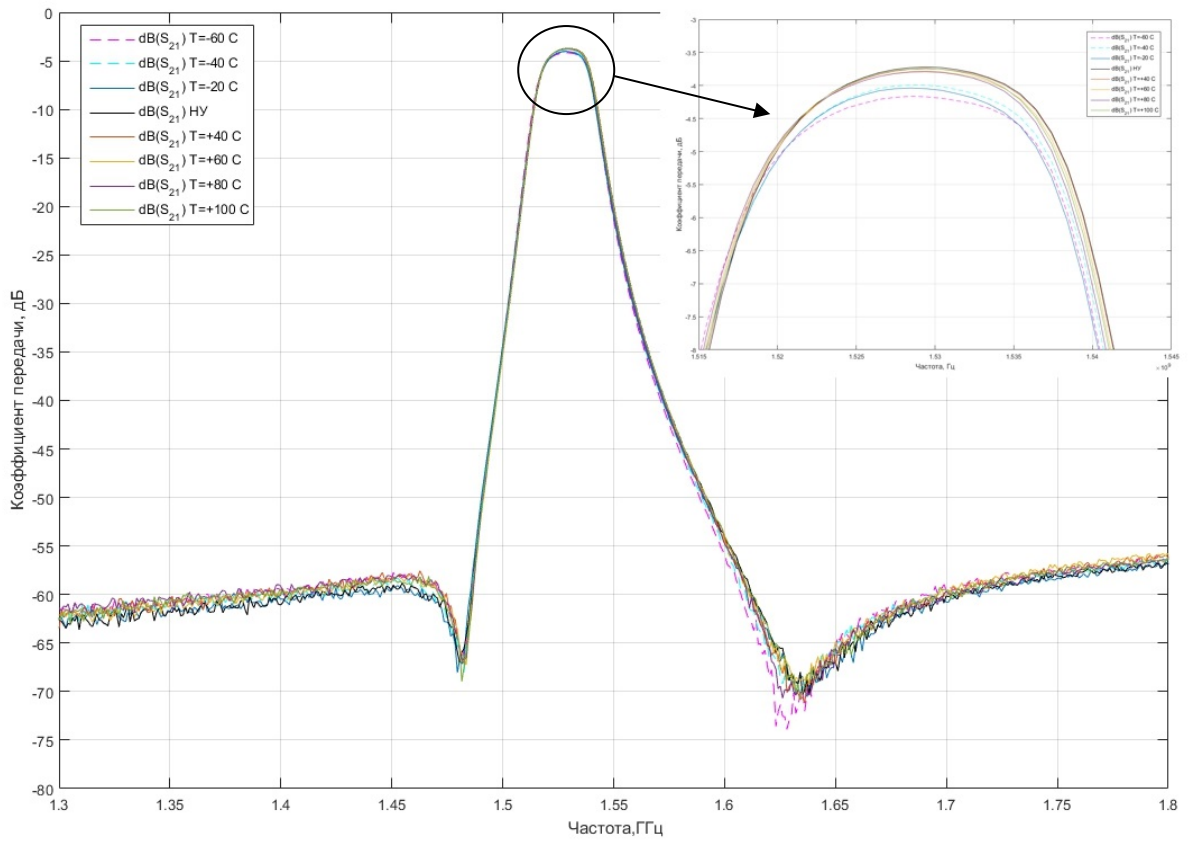


Рис. 3. Графики АЧХ образца фильтра в диапазоне температур от минус 60 С° до плюс 100 С°

Таблица 2 Основные электрические параметры выпускаемых фильтров

Модель	Диапазон рабочих частот, МГц	Минимальные потери в полосе пропускания, дБ, не более	Неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ, не более	Заграждение вне полосы пропускания, дБ, не менее
ЕСКФ.468854.001	1332-1356	4	1	50
-01	1418-1442	4	1	50
-02	1513-1537	4	1	50
-03	1396-1434	3	1	50

### Заключение

ОАО «Завод Магнетон» разработал комплексную технологию серийного производства коаксиально-металлокерамических фильтров из термостабильной керамики в диапазоне частот 1000-2000 МГц. Применяемая технология позволяет в кратчайшие сроки прототипировать фильтры на необходимую центральную частоту; своевременное внесение фактических значений диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь в модель повышает сходимость расчетных частотных характеристик и реальных, что повышает выход годных фильтров при производстве.

Выпускаемые ОАО «Завод Магнетон» коаксиально-металлокерамические фильтры имеют основные электрические параметры на уровне мировых производителей. Применяемая термостабильная керамика позволяет использовать данные фильтры в аппаратуре двойного назначения.

### Библиографический список

1. Безбородов Ю.М., Нарытник Т.Н., Федоров В.Б. Фильтры СВЧ на диэлектрических резонаторах // Техника. 1989.
2. Ильченко М.Е., Взятыйшев В.Ф., Гассанов Л.Г. Диэлектрические резонаторы // Радио и связь. 1989.
3. Фирсенков А.И., Канивец А.Ю., Касаткина Т.С., Ершова О.М., Иванова Л.П., Ершова П.В. Микроволновые диэлектрические материалы производства ОАО «Завод Магнетон» // Электроника и Микроэлектроника СВЧ. Сборник статей IV Всероссийской конференции. 2015. Т2. С 55-59
4. Паршин В.В., Серов Е.А., Ершова П.В. Исследование диэлектрических свойств современных керамических материалов в миллиметровом диапазоне // Электроника и микроэлектроника СВЧ. Сборник статей VI Всероссийской конференции. 2017. С. 418-422.
5. [www.minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) (10.04.2018)
6. [www.micro.apitech.com](http://www.micro.apitech.com) (10.04.2018)
7. [www.ctscorp.com](http://www.ctscorp.com) (10.04.2018)
8. [www.jqlelectronics.com](http://www.jqlelectronics.com) (10.04.2018)
9. [www.sktb-relay.ru](http://www.sktb-relay.ru) (10.04.2018)
10. [www.transtronics.ru](http://www.transtronics.ru) (10.04.2018)
11. [www.domen.ru](http://www.domen.ru) (10.04.2018)
12. [www.magneton.ru](http://www.magneton.ru) (10.04.2018)