

S.A. Khodenkov¹, N.M. Boev^{1,2}

¹Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk

²Institute of Physics, Krasnoyarsk

THE INVESTIGATION OF MICROSTRIP BANDPASS FILTERS WITH WIDE STOP BAND

Ten microstrip bandpass filters with wide high-frequency stop band are investigated with the help of the numerical electrodynamic analysis of 3D models. From each resonator bandwidth of the offered filters tuned with a relative width $\Delta f/f_0=20\%$ is formed by one lowest oscillations mode only. However at all microwave devices the extended high-frequency stop band is observed due to large leap of lines portions wave drags. Build-up of number of resonators in filters up to 6 order is resulted by growth of the steepness of slopes bandwidth and gain suppression of power at frequencies of stop bands. The width of high-frequency stop band at miniaturization of microstrip devices is reducing.

С.А. Ходенков¹, Н.М. Боев^{1,2}

¹Сибирский государственный аэрокосмический университет
имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск

²Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, г. Красноярск,
e-mail: hsa-sibsau@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ПОЛОСНО- ПРОПУСКАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ С ШИРОКОЙ ПОЛОСОЙ ЗАГРЯЖДЕНИЯ

Как известно [1], полосно-пропускающие фильтры (ППФ) сверхвысоких частот (СВЧ), в том числе и микрополосковые [2, 3], являются важнейшими элементами систем связи, радиолокации, радионавигации, различной измерительной, а также специальной радиоаппаратуры. При разработке современных микрополосковых фильтров разработчики стараются повысить технологичность изготовления, уменьшить габариты, а также улучшить их частотно-селективные свойства, в том числе и за счет расширения высокочастотной полосы заграждения [4].

В настоящей работе описаны результаты исследования десяти микрополосковых ППФ с широкой высокочастотной полосой заграждения. Параметрический синтез СВЧ-конструкций проводился с помощью численного электродинамического анализа 3D моделей. Для объективного сравнения характеристик устройств использовались одинаковые подложки с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 9,8$ и толщиной $h = 1$ мм (материал – поликор). Также были зафиксированы

центральная частота полосы пропускания (ПП) $f_0=1,0$ ГГц и относительная ширина ПП – $\Delta f/f_0=20\%$.

Топологии полосковых проводников фильтров порядка N от 2 до 6 приведены на рис. 1. Полосковый проводник каждого резонатора состоит из трех участков: двух узких параллельных отрезков полосковых проводников 1, 3, 5, заземленных на основание со стороны свободных концов, соединенных друг с другом широким отрезком проводника 2, 4, 6, соответственно.

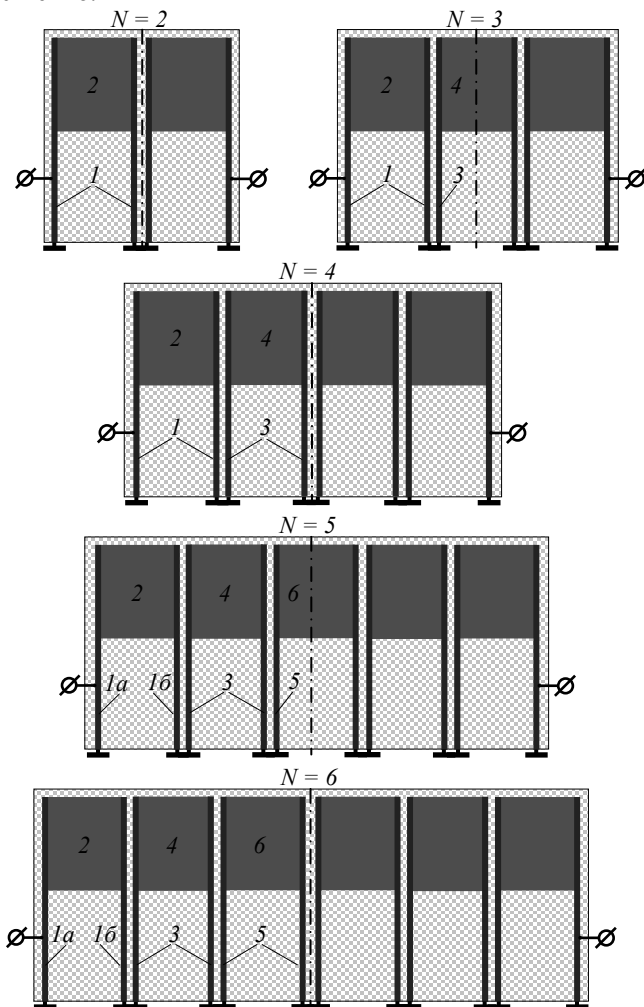


Рис. 1. Топологии полосковых проводников микрополосковых фильтров 2-6-го порядков

От каждого резонатора ПП фильтра формирует только одна нижайшая мода колебаний, но при этом за счет большого скачка волновых сопротивлений отрезков линий можно реализовать протяженную высокочастотную полосу заграждения (см. рис. 2). Как и следовало ожидать, наращивание числа резонаторов в устройствах сопровождается не только ростом крутизны склонов ПП, но и усилением подавления мощности на частотах полос заграждения. При этом наблюдаемые на амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) полюса затухания дополнительно улучшают селективные свойства ППФ.

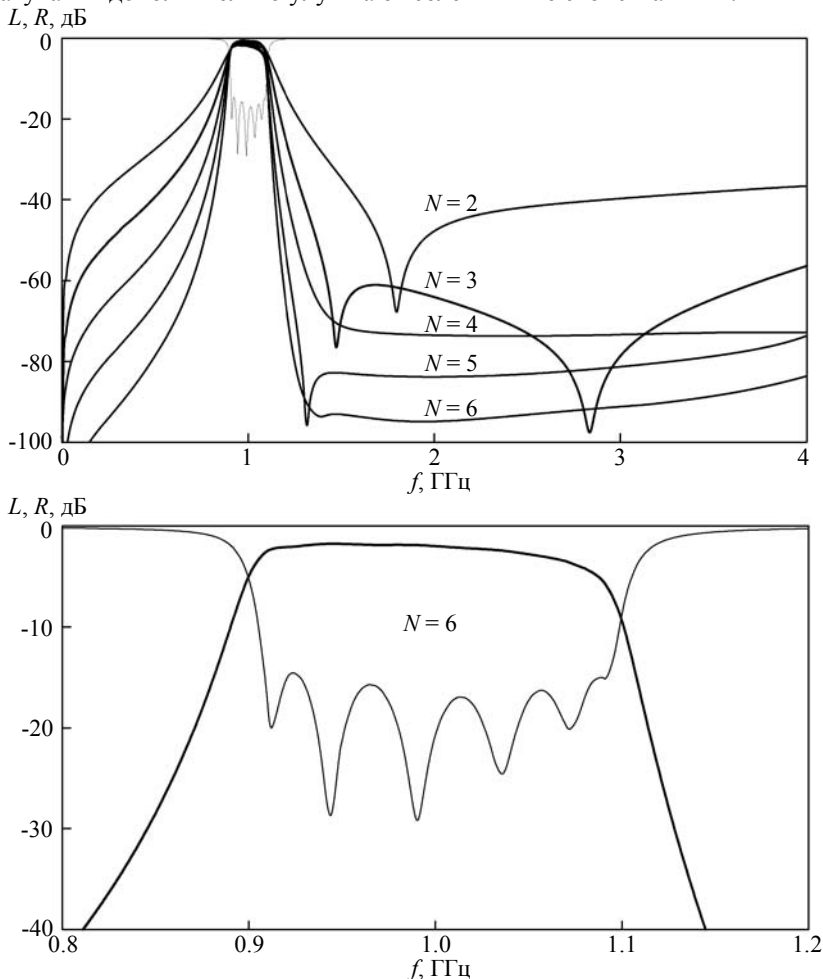


Рис. 2. АЧХ фильтров 2-6-го порядков в широком диапазоне частот.
На вставке АЧХ фильтра 6-го порядка в узком диапазоне частот

Существует несколько вариантов миниатюризации таких фильтров, применение одного из них, наиболее простого, показано на рис. 3. Отрезки широких полосковых проводников 3, 6, 9 значительно вытянуты вдоль оси y и соединены с узкими протяженными отрезками 1, 4, 7 через отрезки-перемычки 2, 5, 8. Это позволяет сократить площадь подложки, занимаемой проводниками, для фильтра 2-го порядка с 280 до 200 мм^2 , для фильтра 6-го порядка с 842 до 588 мм^2 .

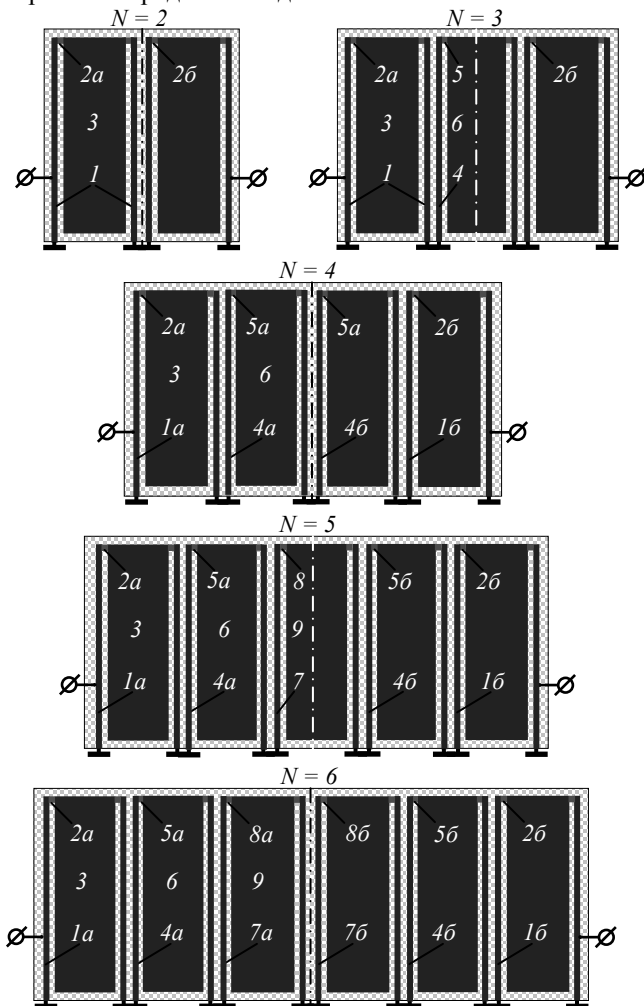


Рис. 3. Топологии полосковых проводников миниатюризованных микрополосковых фильтров 2-6-го порядков

Однако стоит отметить, что такая миниатюризация фильтров сопровождается изменением ширины их высокочастотной полосы заграждения (см. рис. 4). При этом минимальные потери мощности L_{\min} на частотах ПП незначительно возрастают, для фильтра 2-го порядка с -0,54 до -0,60 дБ, для фильтра 6-го порядка с -1,76 до -1,94 дБ.

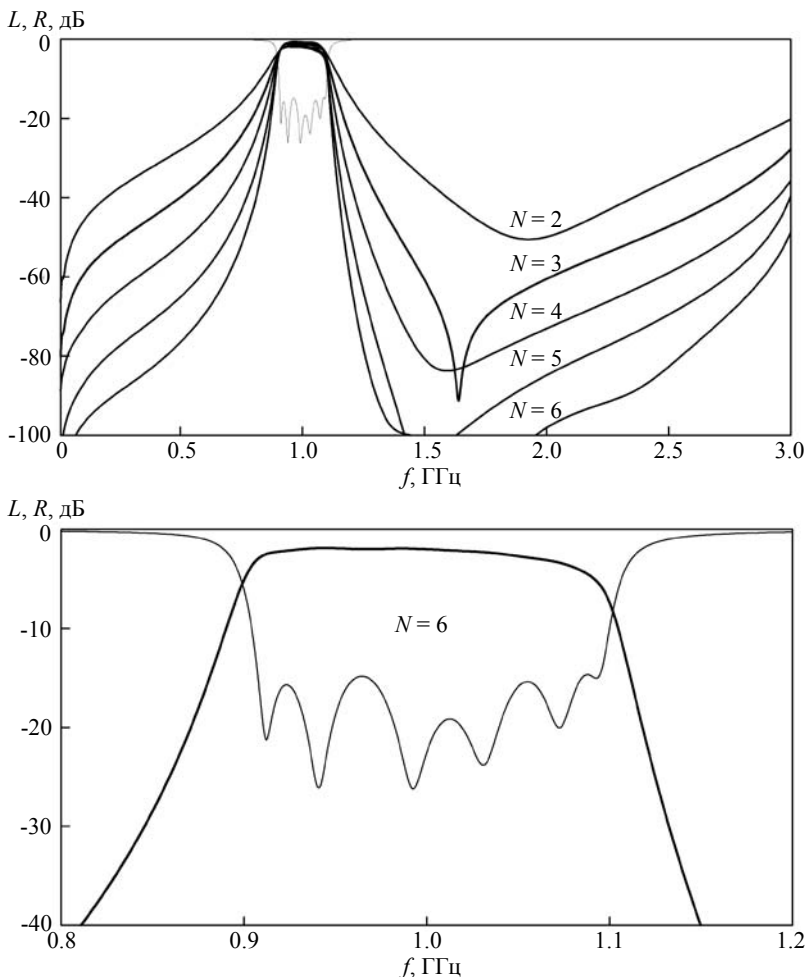


Рис. 4. АЧХ миниатюризованных фильтров 2-6-го порядков в широком диапазоне частот. На вставке АЧХ такого фильтра 6-го порядка в узком диапазоне частот

Конструктивные параметры всех исследованных микрополосковых фильтров с широкой полосой заграждения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Порядок фильтра <i>N</i>	Номер отрезка проводника на рис. и его размеры, мм	Номера отрезков проводников на рис. и зазоры между ними, мм
1	2	3
Конструкции, представленные на рис. 1		
2	<i>1</i> – 18,60×0,35; <i>2</i> – 8,20×6,70;	<i>1</i> и <i>1</i> – 0,25
3	<i>1</i> – 18,50×0,35; <i>2</i> – 8,20×6,70; <i>3</i> – 18,70×0,35; <i>4</i> – 8,20×6,50	<i>1</i> и <i>3</i> – 0,30
4	<i>1</i> – 18,60×0,35; <i>2</i> – 8,00×6,70; <i>3</i> – 18,60×0,35; <i>4</i> – 8,40×6,45	<i>1</i> и <i>3</i> – 0,30; <i>3</i> и <i>3</i> – 0,45
5	<i>1a</i> – 18,50×0,30; <i>1б</i> – 18,50×0,35; <i>2</i> – 8,10×6,75; <i>3</i> – 18,60×0,35; <i>4</i> – 8,40×6,45; <i>5</i> – 18,60×0,35; <i>6</i> – 8,10×6,35	<i>1б</i> и <i>3</i> – 0,30; <i>3</i> и <i>5</i> – 0,50
6	<i>1a</i> – 18,50×0,30; <i>1б</i> – 18,50×0,35; <i>2</i> – 7,80×6,70; <i>3</i> – 18,60×0,35; <i>4</i> – 8,20×6,45; <i>5</i> – 18,60×0,35; <i>6</i> – 7,80×6,35	<i>1б</i> и <i>3</i> – 0,30; <i>3</i> и <i>5</i> – 0,50; <i>5</i> и <i>5</i> – 0,55
Конструкции, представленные на рис. 3		
2	<i>1</i> – 13,40×0,65; <i>2a</i> – 0,60×0,50; <i>2б</i> – 0,50×0,40; <i>3</i> – 12,90×5,10	<i>1</i> и <i>1</i> – 0,15
3	<i>1</i> – 13,20×0,65; <i>2a</i> – 0,50×0,30; <i>2б</i> – 0,50×0,40; <i>3</i> – 12,70×5,10; <i>4</i> – 13,20×0,60; <i>5</i> – 0,60×0,55; <i>6</i> – 12,90×5,00	<i>1</i> и <i>4</i> – 0,20
4	<i>1a</i> – 13,20×0,50; <i>1б</i> – 13,20×0,65; <i>2a</i> – 0,60×0,55; <i>2б</i> – 0,60×0,50; <i>3</i> – 12,70×5,10; <i>4a</i> – 13,20×0,65; <i>4б</i> – 13,20×0,60; <i>5a</i> – 0,50×0,50; <i>5б</i> – 0,55×0,50; <i>6</i> – 12,80×5,00	<i>1б</i> и <i>4a</i> – 0,20; <i>4б</i> и <i>4б</i> – 0,30
5	<i>1a</i> – 13,10×0,45; <i>1б</i> – 13,10×0,65; <i>2a</i> – 0,60×0,50; <i>2б</i> – 0,50×0,50; <i>3</i> – 12,60×5,10; <i>4a</i> – 13,10×0,65; <i>4б</i> – 13,10×0,60; <i>5a</i> – 0,50×0,50; <i>5б</i> – 0,55×0,50; <i>6</i> – 12,80×5,00; <i>7</i> – 13,10×0,65; <i>8</i> – 0,40×0,40; <i>9</i> – 12,90×5,20	<i>1б</i> и <i>4a</i> – 0,20; <i>4б</i> и <i>7</i> – 0,30
6	<i>1a</i> – 13,10×0,45; <i>1б</i> – 13,10×0,65; <i>2a</i> – 0,50×0,30; <i>2б</i> – 0,70×0,50; <i>3</i> – 12,60×5,10; <i>4a</i> – 13,10×0,65; <i>4б</i> – 13,10×0,55; <i>5a</i> – 0,50×0,50;	<i>1б</i> и <i>4a</i> – 0,20; <i>4б</i> и <i>7a</i> – 0,30; <i>7б</i> и <i>7б</i> – 0,35

Продолжение таблицы 1

1	2	3
6	$5б - 0,60 \times 0,50;$ $6 - 12,70 \times 5,00;$ $7а - 13,10 \times 0,60;$ $7б - 13,10 \times 0,65;$ $8а - 0,60 \times 0,50;$ $8б - 0,50 \times 0,50;$ $9 - 12,80 \times 5,00$	

Таким образом, исследованы частотно-селективные свойства микрополосковых фильтров 2-6-го порядков. В предложенных СВЧ-конструкциях за счет большого скачка волновых сопротивлений отрезков линий существенно расширяется высокочастотная полоса заграждения. Миниатюризация ППФ, наоборот, сопровождается сужением полосы заграждения.

При наращивании порядка N фильтра на амплитудно-частотной характеристике наблюдается рост крутизны склонов полосы пропускания, а также значительное усиление подавления мощности на частотах полос заграждения.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук, МК-9119.2016.8.

Библиографический список

1. Миниатюрный коаксиальный резонатор и полосно-пропускающий фильтр на его основе со сверхширокой полосой заграждения / Б.А. Беляев, А.А. Лексиков, Ан. А. Лексиков [и др.] // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 38. №1. С. 95-102.
2. Новая конструкция миниатюрного фильтра на микрополосковых резонаторах со встречно-штыревой структурой проводников / Б.А. Беляев, А.М. Сержантов, Я.Ф. Бальва [и др.] // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40. №22. С. 52-60.
3. Вендик И.Б. Полосно-пропускающие микрополосковые фильтры на пленках высокотемпературного сверхпроводника / И.Б. Вендик, В.В. Кондратьев, А.А. Свищев // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 24. № 24. С. 50-54.
4. Ходенков С.А. Исследование микрополосковых фильтров с широкой полосой заграждения / С.А. Ходенков // «Физика. СПб»: материалы Междунар. молодёжной конф. СПб.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2015. С. 208-209.