

Б.А. Беляев^{1,2}, С.А. Ходенков², Д.В. Борисенков^{1,2}

¹Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, г. Красноярск

²Сибирский государственный аэрокосмический университет

имени академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск,

e-mail: belyaev@iph.krasn.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ
ФИЛЬТРОВ НА РЕЗОНАТОРЕ С ПОЛОСКОВЫМ
ПРОВОДНИКОМ В ФОРМЕ НЕРЕГУЛЯРНОГО МЕАНДРА**

B.A. Belyaev^{1,2}, S.A. Khodenkov², D.V. Borisenkov^{1,2}

¹Kirensky Institute of Physics, Siberian Branch of RAS, Krasnoyarsk

²Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk

**INVESTIGATION OF MICROSTRIP BROADBAND FILTERS BASED ON THE
RESONATOR HAVING STRIP CONDUCTOR IN THE SHAPE OF AN
IRREGULAR MEANDER**

Microstrip broadband filters based on the multimode resonator, having conductors in the shape of an irregular meander are investigated. The increase of the periods of the meander electromagnetically connected with several single-mode resonators allow considerably to improve frequency selective properties of filters.

При разработках и исследованиях новых конструкций частотно-селективных СВЧ-устройств, в том числе и микрополосковых полосно-пропускающих фильтров, разработчики традиционно стараются увеличить их селективные свойства, повысить технологичность изготовления и уменьшить габариты. В настоящее время особое внимание уделяется конструкциям фильтров на многомодовых микрополосковых резонаторах [1]. В таких резонаторах, используя определенную форму проводников, удастся сблизить собственные частоты нижайших n мод колебаний. В результате фильтр на многомодовых резонаторах имеет порядок N , которым, как известно, определяются его частотно-селективные свойства и который в n раз превышает число резонаторов в нем.

Резонатор с полосковым проводником в форме меандра нередко применяется при проектировании СВЧ-устройств [2], в которых разработчики используют лишь нижайший резонанс. Значительно улучшить селективные свойства таких конструкций можно, увеличивая число рабочих мод колебаний, формирующих полосу пропускания.

Теоретические исследования микрополосковых фильтров с таким резонатором и одномодовыми резонаторами на регулярных полосковых проводниках (см. рис. 1) были проведены с помощью электродинамического численного анализа 3D моделей. Диэлектрические

подложки выбраны из традиционного СВЧ-материала – ФЛАН-2,8 с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2,8$ и толщиной $h = 2$ мм. Полосковые проводники всех фильтров обладают осевой симметрией.

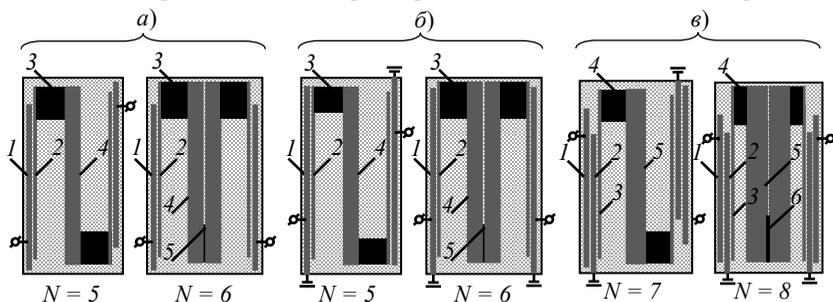


Рис. 1. Топологии широкополосных фильтров:

а – с крайними четвертьволновыми резонаторами;

б – с крайними, заземляемыми на основание проводниками;

в – с использованием одновременно двух различных одномодовых резонаторов

Рассмотрены три пары фильтров, различающихся между собой одномодовыми резонаторами. При этом в первом фильтре каждой пары использовался трехмодовый центральный резонатор, а во втором – четырехмодовый. Первая пара конструкций, представленных на рис. 1,а, имеет крайние четвертьволновые резонаторы, вторая (см. рис. 1,б) – также четвертьволновые резонаторы, но при этом полосковые проводники заземлены на основание, а третья (см. рис. 1,в) имеет одновременно четыре таких одномодовых резонатора.

Оптимально подстроив конструктивные параметры четвертьволновых резонаторов, электромагнитно связанных с центральным многомодовым резонатором, можно реализовать широкополосные фильтры с относительной шириной полосы пропускания $\Delta f/f_0 \approx 80\%$ (см. рис. 2).

В результате в первом фильтре конструкций (см. рис. 1,а и 1,б) рабочую полосу пропускания (см. рис. 2,а) формируют пять резонансов ($N=5$) – два резонанса от крайних четвертьволновых резонаторов и три резонанса от многомодового резонатора. Для следующей конструкции (см. рис. 1,в), за счет увеличения числа одномодовых резонаторов на два, общее количество резонансов в полосе пропускания возрастает до семи ($N=7$).

Как видно из рис. 2,а, для всех этих трех конструкций ($N=5, 7$), обладающих расширенной высокочастотной полосой заграждения, рядом с одним склоном полосы пропускания наблюдается полюс затухания, что приводит к значительному увеличению его крутизны. При этом

заземление крайних полосковых проводников на основание приводит к улучшению частотно-селективных свойств фильтра.

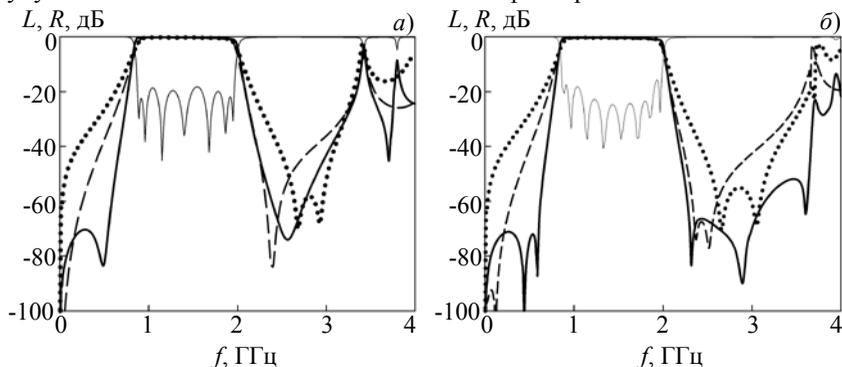


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) широкополосных фильтров: *а* – на трехмодовом резонаторе; *б* – на четырехмодовом. Точки – первая пара конструкций, штриховая линия – вторая, сплошные линии – третья

Как и следовало ожидать, при использовании четырехмодового резонатора в полосу пропускания каждого фильтра добавляется по одному резонансу, при этом происходит улучшение частотно-селективных свойств устройств (см. рис. 2,б) – растет крутизна обоих склонов рабочей полосы пропускания и расширяется высокочастотная полоса заграждения. Стоит отметить, что конструкция с использованием нескольких одномодовых резонаторов значительно превосходит по частотно-селективным свойствам остальные фильтры – в АЧХ наблюдаются по три полюса затухания в низкочастотной и расширенной высокочастотной полосах заграждения и, как следствие, сильное подавление мощности на этих частотах и дополнительное увеличение крутизны обоих склонов полосы пропускания, сформированной восемью резонансами.

Важно, что и дальнейшее увеличение числа периодов нерегулярного меандра позволяет добавлять по одному резонансу в полосу пропускания.

Приведем конструктивные размеры топологии проводников фильтров первой пары с крайними четвертьволновыми резонаторами:

при $N = 5$ площадь проводников 1, 2, 3, 4 – $41,0 \times 0,90 \text{ мм}^2$, $46,4 \times 0,15 \text{ мм}^2$, $7,80 \times 6,10 \text{ мм}^2$, $47,30 \times 3,40 \text{ мм}^2$, зазор между 1 и 2 – 0,25 мм, смещение свободного края проводника 2 относительно проводника 1 – 2,10 мм;

при $N = 6$ площадь проводников 1, 2, 3, 4, 5 – $42,6 \times 0,9 \text{ мм}^2$, $46,80 \times 0,15 \text{ мм}^2$, $8,70 \times 4,40 \text{ мм}^2$, $47,70 \times 3,80 \text{ мм}^2$, $11,20 \times 0,15 \text{ мм}^2$, соответственно, зазор

между проводниками 1 и 2 – 0,25 мм, смещение свободного края проводника 2 относительно проводника 1 – 3,50 мм.

Для второй пары конструкций с крайними, заземляемыми на основание проводниками:

при $N=5$ площадь проводников $1, 2, 3, 4$ – 47,20×1,20 мм², 43,60×0,15 мм², 8,70×7,80 мм², 44,5×4,30 мм², зазор между 1 и 2 – 0,30 мм;

при $N=6$ площадь проводников $1, 2, 3, 4, 5$ – 46,90×1,30 мм², 43,7×0,15 мм², 8,00×6,75 мм², 46,30×4,60 мм², 10,50×0,10 мм², зазор между проводниками 1 и 2 – 0,30 мм, смещение свободного края проводника 2 относительно проводника 1 – 4,20 мм.

И для третьей пары конструкций с различными одноמודовыми резонаторами:

при $N=7$ площадь проводников $1, 2, 3, 4, 5$ – 43,00×0,85 мм², 36,70×0,80 мм², 47,50×0,50 мм², 9,80×6,50 мм², 47,90×5,70 мм², зазор между 1 и 2 – 0,15 мм, между 2 и 3 – 0,35 мм, смещение проводника 1 относительно нижнего края подложки – 2,60 мм, проводника 3 – 2,80 мм;

при $N=8$ площадь проводников $1, 2, 3, 4, 5, 6$ – 42,70×0,95 мм², 37,20×0,70 мм², 48,20×0,40 мм², 10,6×3,45 мм², 48,10×5,90 мм², 12,60×0,20 мм², зазор между 1 и 2 – 0,15 мм, между 2 и 3 – 0,35 мм, смещение проводника 1 относительно нижнего края подложки – 2,20 мм, проводника 3 – 3,10 мм.

Таким образом, на основе многомодового резонатора, полосковый проводник которого имеет форму нерегулярного меандра, электромагнитно связанного с одноמודовыми четвертьволновыми резонаторами, реализованы широкополосные фильтры с высокими частотно-селективными свойствами. При этом увеличение периодов нерегулярного меандра пропорционально увеличивает количество резонансов, формирующих полосу пропускания фильтра, а применение одновременно двух различных одноמודовых резонаторов позволяет значительно повысить его частотно-селективные свойства.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение № 14.577.21.0086.

Библиографический список

1. Бальва Я.Ф. Исследование микрополосковых многомодовых резонаторов и конструирование полосно-пропускающих фильтров на их основе / Я.Ф. Бальва, Б.А. Беляев, С.А. Ходенков // Известия вузов. Физика. 2012. Т. 55. № 8/3. С. 153-156.

2. Pregla R. Analysis of Electromagnetic Fields and Waves: the Method of Lines / R. Pregla. New York: Wiley, 2008. 522 p.