

Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki. 2011. № 2 (24). Ch. 1. S. 282–287.

2. Datchik polozheniya Solnca: pat. № 135126 U1 Ros. Federacija. № 2013117198; zajavl. 15.04.2013; opubl. 27.11.2013 v bjul. № 33; il.

3. Arzhanov V. V., Shurygin Ju. A., Shinjakov Ju. A., Arzhanov K. V. Minimizacija jenergopotreblenija jelektroprivodami v fotojelektricheskoj jenergeticheskoj ustanovke // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. 2013. T. 322. № 4. S. 146–150.

© Аржанов К. В., 2014

УДК: 621.3.029.6

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АКТИВНОЙ СРЕДЫ В МИКРОПОЛОСКОВОМ ФИЛЬТРЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ МОЩНОГО РАДИОИМПУЛЬСА

Б. А. Беляев<sup>1,2</sup>, С. А. Ходенков<sup>2</sup>, А. С. Бутиков<sup>2</sup>, С. В. Ефремова<sup>2</sup>, В. В. Храпунова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики имени Л. В. Киренского СО РАН

Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/38. E-mail: belyaev@iph.krasn.ru

<sup>2</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева

Российская Федерация, 660014, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

E-mail: hsa\_sibsau@mail.ru

*Разработан полосно-пропускающий фильтр с высокотемпературным сверхпроводниковым (ВТСП) элементом в качестве активной среды. Полосу пропускания широкополосного фильтра седьмого порядка формируют пять мод колебаний от центрального многомодового резонатора, полосковые проводники которого соединены между собой ВТСП пленкой-перемычкой, а также по одной низшей моде колебаний от каждого крайнего резонатора. В случае воздействия мощного радиоимпульса пленочный ВТСП элемент переходит из сверхпроводящего состояния в высокорезистивное, при этом многомодовый режим работы резонатора нарушается. На амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) наблюдается практически полное отражение электромагнитных волн, что позволяет ограничивать мощность на выходе устройства.*

*Ключевые слова: полосно-пропускающий фильтр, активная среда, высокотемпературный сверхпроводник.*

## USING THE ACTIVE MEDIUM IN THE MICROSTRIP FILTER FOR PROTECTION FROM THE POWERFUL RADIO IMPULSE

B. A. Belyaev<sup>1</sup>, S. A. Khodenkov<sup>2</sup>, A. S. Butikov<sup>2</sup>, S. V. Efremova<sup>2</sup>, V. V. Khrapunova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kirenskiy Institute of Physics Siberian Branch of the Russian Academy of Science

50/38, Academgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation. E-mail: belyaev@iph.krasn.ru

<sup>2</sup>Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev

31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation. E-mail: hsa\_sibsau@mail.ru

*The band-pass filter with a high-temperature superconductor element as the active medium is developed. The pass-band of the seventh order broadband filter is formed by five vibrational patterns from the central multimode resonator having strip conductors are connected among themselves by a high-temperature superconductor film. Also a pass-band is formed by one lowest vibration pattern from each single-mode resonator. Under influence of a powerful radio impulse, the film high-temperature superconductor element turns from a superconducting state to high-resistive. Almost full reflection of electromagnetic waves is observed at the amplitude-frequency characteristic. It allows to limit power at the device exit.*

*Keywords: band-pass filter, active medium, high-temperature superconductor.*

Устройства защиты от мощного радиоимпульса применяются для сохранения работоспособности входных цепей приемников различного назначения, как одно из средств в системах электронного противодействия, а также для защиты входных цепей приемника радиолокатора от собственного излучения [1]. Как известно [2], электромагнитное излучение при превышении некоторого порога по мощности способ-

но вывести из строя активные элементы приёмного канала радиосистемы. При поступлении на транзистор или микросхему сигнала, мощность которого превышает их максимальную мощность рассеивания, происходит тепловой пробой *p-n* перехода. Это приводит к выходу из строя всего приёмного канала.

В настоящее время наиболее широкое применение получили полупроводниковые устройства защиты [3].

Однако они имеют довольно значительное время срабатывания и при малой длительности импульса не способны защитить приёмную аппаратуру от мощного электромагнитного излучения. Применение ВТСП элементов в микрополосковых конструкциях позволяет решить поставленную задачу защиты устройств.

Резонатор с полосковым проводником в форме мандра хорошо исследован [4], однако реализовать на его основе полосно-пропускающие фильтры с высокими частотно-селективными свойствами можно, не только повышая число резонаторов в конструкциях, но и увеличивая число низших рабочих мод колебаний одиночного резонатора, частоты которых формируют полосу пропускания.

Теоретические исследования фильтра шестого порядка с таким многомодовым резонатором, состоящим из полосковых отрезков 2–5, и одномодовыми крайними резонаторами в виде регулярных полосковых проводников 1 (рис. 1, а) были проведены с помощью электродинамического численного анализа 3D-моделей. Диэлектрические подложки выбраны из традиционного СВЧ материала – ФЛАН-2.8 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2,8$  и толщиной  $h = 2$  мм. В дальнейшем в исследованиях использовался этот же материал с такими же характеристиками. Полосковые проводники всех рассмотренных в работе фильтров обладают осевой симметрией.

Рабочую полосу пропускания широкополосного фильтра ( $\Delta f/f_0 \approx 80\%$ ) формируют два резонанса от крайних четвертьволновых резонаторов (низшая мода колебаний от каждого из них), а также 4 резонанса от центрального резонатора (четыре его низших моды колебаний) (см. рис. 1).

Конструктивной особенностью такого фильтра является то, что смещение и изменение в размерах отрезка полоскового проводника 5 позволяет не только добавить еще одну моду колебаний от многомодового резонатора в полосу пропускания (рис. 2, б) и тем самым расширить ее ( $\Delta f/f_0 \approx 94\%$ ), но и так подобрать размеры проводников, чтобы добиться значительного

отражения электромагнитных волн на частотах полосы пропускания в случае отсутствия этого отрезка. Реализовать два таких состояния в частотно-селективной конструкции можно, используя в качестве переключки ВТСП пленку 5 (рис. 2, а). Фильтр с пленкой, находящейся в сверхпроводящем состоянии будет иметь АЧХ, представленную на рис. 2, б. Под воздействием мощного радиоимпульса плотность высокочастотного тока превышает критическое значение, и сверхпроводящее состояние пленки разрушается – АЧХ устройства трансформируется (рис. 2, в). В этом случае в некоторой области частот полосы пропускания наблюдается полное отражение электромагнитных волн обратно в тракт СВЧ. Относительно «уязвимый» частотный диапазон (1,92 – 2,08 ГГц) не превышает 1/8 ширины полосы пропускания.

Приведем конструктивные размеры рассмотренных фильтров:

– первая конструкция ( $N = 6$ ), площадь проводников 1, 2, 3, 4, 5 –  $42,6 \times 0,9$  мм<sup>2</sup>,  $46,80 \times 0,15$  мм<sup>2</sup>,  $8,70 \times 4,40$  мм<sup>2</sup>,  $47,70 \times 3,80$  мм<sup>2</sup>,  $11,20 \times 0,15$  мм<sup>2</sup> соответственно; зазор между проводниками 1 и 2 – 0,25 мм; смещение свободного края проводника 2 относительно проводника 1 – 3,50 мм;

– вторая конструкция ( $N = 7$ ), площадь проводников 1, 2, 3, 4 –  $45,5 \times 0,7$  мм<sup>2</sup>,  $46,3 \times 0,2$  мм<sup>2</sup>,  $8,6 \times 4,7$  мм<sup>2</sup>,  $47,8 \times 3,47$  мм<sup>2</sup> соответственно; площадь ВТСП пленки 5 –  $3,8 \times 0,2$  мм<sup>2</sup>; зазор между проводниками 1 и 2 – 0,2 мм; смещение свободного края проводника 2 относительно проводника 1 – 7,1 мм; смещение ВТСП пленки 5 относительно свободного края проводника 4 – 20,7 мм.

Таким образом, предложены конструкции микрополосковых широкополосных полосно-пропускающих фильтров с высокими частотно-селективными свойствами, показаны возможности расширения полосы пропускания полосно-пропускающего фильтра до  $\Delta f/f_0 \approx 94\%$  за счет увеличения числа рабочих мод колебаний многомодового резонатора. Разработана конструкция широкополосного фильтра с защитой от мощного радиоимпульса за счет использования активной среды – ВТСП пленки.

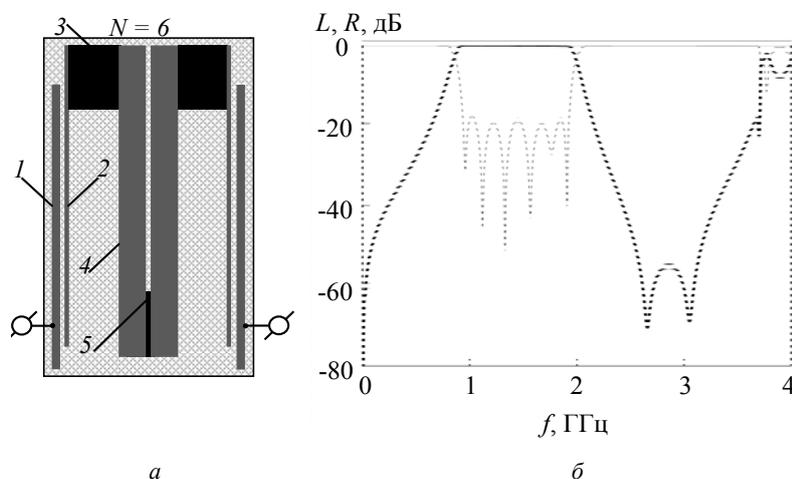


Рис. 1. Топология проводников фильтра 6 порядка (а) и его АЧХ (б)

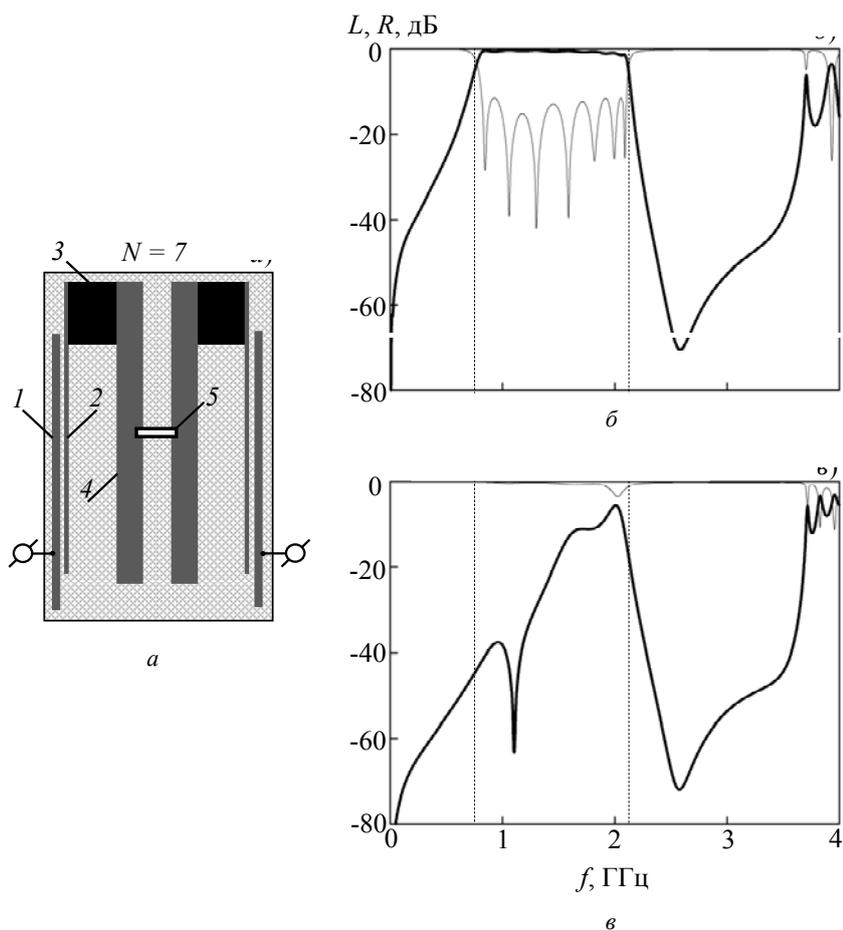


Рис. 2. Топология проводников фильтра 7 порядка с активной средой (а) и его АЧХ (б) и (е) при сверхпроводящем состоянии ВТСП пленки и ее нормальном состоянии соответственно

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук, МК-5942.2014.8 «Исследование и проектирование современных микрополосковых и полосковых устройств частотной селекции, в том числе с использованием активных сред и на основе фотонных кристаллов».

#### Библиографические ссылки

1. Говорун И. В. Разработка и исследование микрополосковых устройств защиты от мощного радиоимпульса с управляющим элементом на основе пленки ВТСП : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск : СФУ, 2011. 20 с.

2. Пат. 2 440 645 РФ. МПК H01P1/04. Микрополосковое защитное устройство / Б. А. Беляев, И. В. Говорун, А. А. Лексиков, А. М. Сержантов; заявл. 01.11.2010; опубл. 20.01.2012.

3. Беляев Б. А., Лексиков А. А., Сержантов А. М., Говорун И. В. Микрополосковое устройство защиты от мощного радиоимпульса с ВТСП элементом // ЖРЭ. 2011. № 7. С. 1–12.

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

#### References

1. Govorun I. V. *Razrabotka i issledovanie mikropoloskovyx ustrojstv zashhity ot moshhnogo radioimpul'sa s upravlyayushhim e'lementom na osnove plenki VTSP* : Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk. 2011. Krasnoyarsk: SFU. 20 p.

2. Pat. 2 440 645 RF. MПК H01P1/04. *Mikropoloskovoe zashhitnoe ustrojstvo* / B. A. Belyaev, I. V. Govorun, A. A. Leksikov, A. M. Serzhantov; yayavl. 01.11.2010; opubl. 20.01.2012.

3. Belyaev B. A., Leksikov A. A., Serzhantov A. M., Govorun I. V. / *Mikropoloskovoe ustrojstvo zshhity ot moshhnogo radioimpul'sa s VTSP e'lementom* // ZhRE'. 2011. № 7. P. 1–12.

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

© Беляев Б. А., Ходенков С. А., Бутиков А. С., Ефремова С. В., Храпунова В. В., 2014