

## DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR ONBOARD NETWORK OF SMALL SPACECRAFT

V. Kh. Khanov, V. A. Shakhmatov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev  
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation. E-mail: khvkh@mail.ru

*A review of conducted developments in the field of equipment for the onboard network of small spacecraft is presented. Determined variants of creating network architecture for ultra-small spacecraft, the directions of further research and development are proposed.*

*Keywords: SpaceWire, network architecture, small and ultra-small spacecraft.*

В последние годы с появлением сетевой технологии SpaceWire меняются подходы к разработке бортовой аппаратуры космических аппаратов (КА). Все более очевидными становятся преимущества сетевых принципов организации взаимодействия бортовой аппаратуры (БА), в связи с чем получили развитие устройства сетевой инфраструктуры и протоколы информационного взаимодействия в сети SpaceWire. Эта тенденция затронула не только полноразмерные (КА), но и малые и даже сверхмалые космические аппараты. Развитие данной тенденции, были разработаны:

- сетевая резервируемая архитектура бортового комплекса управления (БКУ) малым космическим аппаратом (МКА);
- ПЛИС-маршрутизатор сети SpaceWire с перепрограммируемым числом портов;
- опытный образец БКУ МКА на базе сетевой резервируемой архитектуры, состоящий из двух комплектов бортового оборудования;
- аппаратный контроллер протокола RMAP;
- аппаратура базовой инфраструктуры сети SpaceWire, состоящая из трех устройств: бортового компьютера на базе софт-процессора LEON3, содер-

жащего, кроме того, маршрутизатор на 4 порта; внешний маршрутизирующий коммутатор также на 4 порта; модуль расширения SpaceWire в интерфейсы CAN, SPI, I2C.

Бортовой компьютер из состава базовой инфраструктуры сети SpaceWire в настоящее время эксплуатируется на борту МКА «ТаблетСат-Аврора».

В настоящее время проводятся работы по адаптации сетевого подхода сопряжения оборудования применительно к особенностям СМКА. Рассматривается возможность модернизации базовой топологии типа «звезда» путем установки в каждую БА маршрутизирующего коммутатора на 3 порта и увеличения числа альтернативных маршрутов передачи информации по каналам SpaceWire. Анализируется вариант создания способа взаимодействия БК с внешним устройством как с локальным устройством, виртуально присоединенным к его внутренней шине, но при этом реально связанным с ним через внешнее SpaceWire-соединение типа «точка-точка».

© Ханов В. Х., Шахматов А. В., 2014

УДК 621.3.029.6

### ДВУХПОЛОСНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ШПИЛЬКОВОМ НЕРЕГУЛЯРНОМ РЕЗОНАТОРЕ\*

С. А. Ходенков<sup>1</sup>, Б. А. Беляев<sup>1,2</sup>, Д. В. Борисенков<sup>1,2</sup>, К. В. Литая<sup>1</sup>

<sup>1</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

<sup>2</sup> Институт физики имени Л. В. Киренского СО РАН  
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/38. E-mail: belyaev@iph.krasn.ru

*Разработаны обладающие высокими частотно-селективными свойствами двухполосные фильтры на шпильковом нерегулярном резонаторе. Показано, что применение внутренних закороченных на основании регулярных полосковых проводников позволяет реализовать две полосы пропускания на амплитудно-частотной характеристике (АЧХ).*

*Ключевые слова: двухполосный фильтр, резонатор.*

\* 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.

## TWO-BAND FILTERS BASED ON THE STUD IRREGULAR RESONATOR

S. A. Khodenkov<sup>1</sup>, B. A. Belyaev<sup>1,2</sup>, D. V. Borisenkov<sup>1,2</sup>, K. V. Litau<sup>1</sup><sup>1</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<sup>2</sup>Kirenskiy Institute of Physics Siberian Branch of the Russian Academy of Science  
50/38, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation. E-mail: belyaev@iph.krasn.ru

*Two-band filters based on the stud irregular resonator are developed. Microstrip constructions have high frequency selective properties. The use of the internal grounded regular strip conductors allows to create two pass-bands on amplitude-frequency characteristic.*

*Keywords: two-band filter, resonator.*

Как известно, полосно-пропускающие фильтры являются важнейшими элементами систем связи, радиолокации, различной измерительной и специальной радиоаппаратуры. Однако наряду с обычными фильтрами, имеющими лишь одну рабочую полосу пропускания, часто требуются устройства, обладающие двумя рабочими полосами, каждая из которых имеет свою заданную ширину и центральную частоту. При этом микрополосковые конструкции двухполосных фильтров отличаются высокой миниатюрностью, технологичностью в производстве и простотой интеграции с другими элементами радиосхем. Именно поэтому они получили широкое распространение в СВЧ-технике [1].

Одномодовые шпильковые резонаторы достаточно хорошо исследованы [2], но их взаимодействие сравнительно мало, поэтому на них невозможно создавать широкополосные фильтры. В рассматриваемом трехрезонаторном фильтре (рис. 1, а) благодаря уширению центрального участка проводника в шпильковом резонаторе, показанного на рис. 1, а черным цветом (3), удастся сблизить резонансные частоты его первых двух мод колебаний. Также полосу пропускания формируют еще два резонанса от крайних четвертьволновых резонаторов 1, поэтому порядок широкополосного фильтра ( $\Delta f/f_0 \approx 80\%$ ) становится  $N = 4$ , что хорошо видно на его АЧХ (рис. 1, б). При этом микрополосковая конструкция обладает расширенной высокочастотной полосой заграждения, а рядом с высокочастот-

тотным склоном полосы пропускания наблюдается полюс затухания, что приводит к значительному увеличению крутизны этого склона.

Отметим, что исследования фильтров с таким шпильковым резонатором и крайними резонаторами в виде регулярных полосковых проводников, заземленных на основание, 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. Топологии полосковых проводников всех рассмотренных фильтров имеют осевую симметрию.

Добавление внутренних, закороченных на основание регулярных полосковых проводников 4 (рис. 2, а) позволяет трансформировать АЧХ (рис. 2, б): из одной полосы пропускания формируются две, имеющие высокую крутизну внутренних склонов, за счет близкого расположения полюсов затухания. При этом относительная ширина первой полосы пропускания на центральной частоте  $f_0 \approx 1,1$  ГГц составила  $\Delta f/f_0 \approx 33\%$ , второй полосы пропускания на центральной частоте  $f_0 \approx 1,8$  ГГц –  $\Delta f/f_0 \approx 27\%$ .

Последующее добавление в конструкцию еще одной пары внутренних закороченных полосковых проводников 5 (рис. 3, а), приводит к увеличению числа полюсов между полосами пропускания и отдалению полос друг от друга (рис. 3, б).

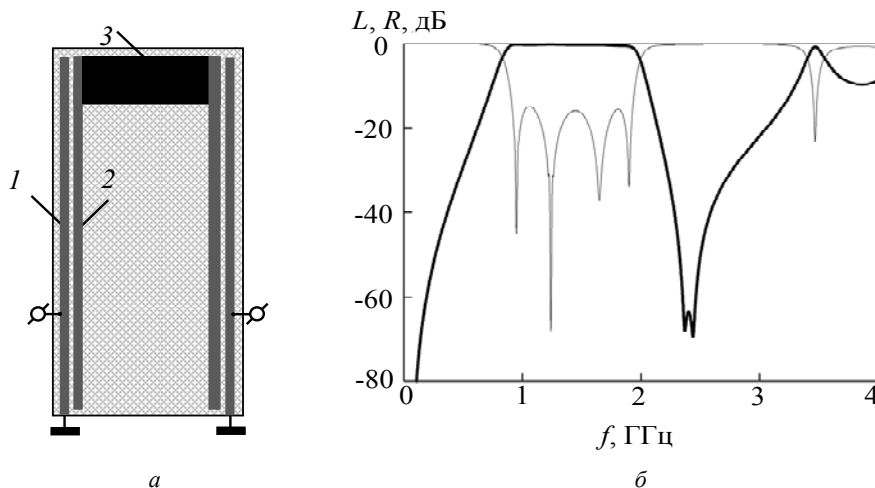


Рис. 1. Топология проводников полосно-пропускающего фильтра 4 порядка (а) и его АЧХ (б)

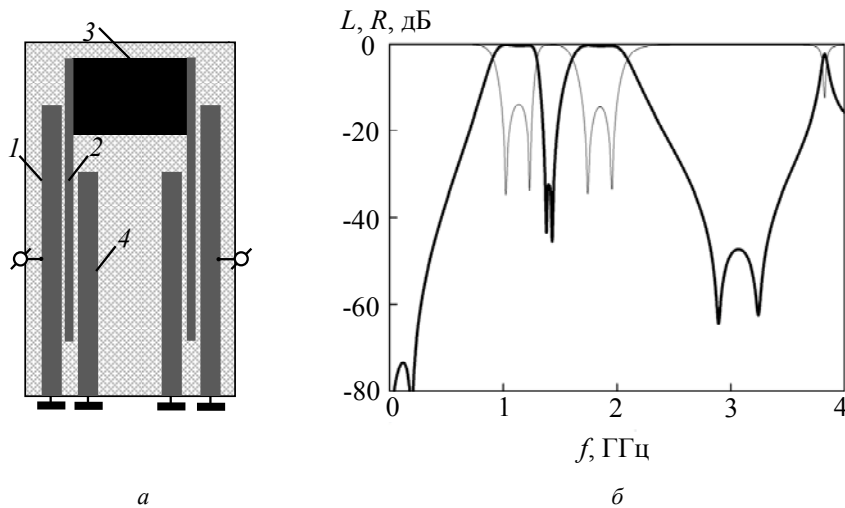


Рис. 2. Топология проводников двухполосного полосно-пропускающего фильтра (а) и его АЧХ (б)

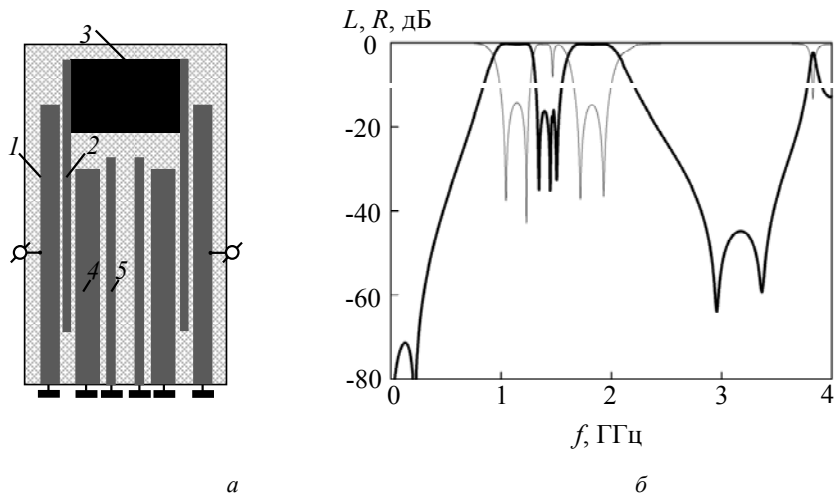


Рис. 3. Топология проводников модифицированного двухполосного полосно-пропускающего фильтра (а) и его АЧХ (б)

Таким образом, предложены конструкции полосно-пропускающих фильтров на шпильковом нерегулярном резонаторе. При этом использование внутренних, закороченных на основании регулярных полосковых проводников позволяет реализовать микрополосковые устройства с двумя полосами пропускания. Высокие частотно-селективные свойства двухполосных фильтров обусловлены наличием на амплитудно-частотной характеристике большого числа полюсов затухания, которые значительно увеличивают крутизну склонов полос пропускания и подавление мощности на частотах низкочастотной полосы заграждения, а также расширенной высокочастотной.

#### Библиографические ссылки

1. Беляев Б. А., Сержантов А. М., Тюрнев В. В. Миниатюрный фильтр с двумя полосами пропускания

на микрополосковых двухмодовых резонаторах // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 38, вып. 1. С. 31–40.

2. Беляев Б. А., Сержантов А. М. Исследование коэффициентов связи шпильковых резонаторов // Радиотехника и электроника. 2004. Т. 49, вып. 1. С. 24–31.

#### References

1. Belyaev B. A., Serzhantov A. M., Tyurnev V. V. *Miniaturnyy fil'tr s dvumya polosami propuskaniya na mikropoloskovykh dvehmodovykh rezonatorah* // Pis'ma v ZhTF. 2012. T. 38, № 1. p. 31–40.

2. Beljaev B. A., Serzhantov A. M. *Issledovanie koeficientov svyazi shpil'kovykh rezonatorov* // Radiotekhnika i jelektronika. 2004. T. 49. № 1, p. 24–31.

© Ходенков С. А., Беляев Б. А., Борисенков Д. В., Литай К. В., 2014