

*Дроздовский А.В., Зарецкая Г.А., Калиникоз Б.А.,
Рогальская Ю.Ю.
Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ»*

Высокодобротный радиофотонный СВЧ фильтр с магнитной перестройкой

Экспериментально и теоретически исследован радиофотонный фильтр СВЧ сигнала. Фильтр представлял собой активную кольцевую систему, содержащую спин-волновую линию задержки и оптоволоконную линию задержки. Для компенсации потерь внутри фильтра использовался СВЧ усилитель. Теоретически и экспериментально полученные значения добротности такого фильтра составили более 350 000. Продемонстрирована экспериментальная перестройка магнитным полем в диапазоне 1 ГГц.

Ключевые слова: фильтрация сигнала, радиофотоника.

Непрерывное развитие радиоэлектроники постоянно наращивает требования к элементам и устройствам обработки СВЧ сигнала. Одним из требований является использование СВЧ фильтров с узкой или сверх узкой полосой пропускания. Современная используемая компонентная база практически исчерпала пути улучшения тактико-технических характеристик СВЧ фильтров. Одним из наиболее перспективных путей развития СВЧ микроэлектроники является радиофотоника, позволяющая изготавливать СВЧ устройства с характеристика недостижимыми иными способами [1-3].

В настоящей работе приводятся результаты исследования конструкции перестраиваемого радиофотонного СВЧ фильтра, позволяющего выделять СВЧ сигнал с полосой пропускания менее 1 МГц. Конструкция фильтра представляла из себя активную кольцевую систему, включающую последовательно соединённые СВЧ усилитель, длинный радиофотонный тракт (состоящий из лазерного модуля, оптического модулятора Маха-Цендера, оптоволоконной линии задержки, оптического детектора) и перестраиваемую магнитным полем спин-волновую линию задержки.

Для экспериментального исследования радиофотонного фильтра был собран макет, показанный на рисунке 1. Оптический тракт состоял из лазера – 1, модулятора – 2 (LUCENT Model 2623NA), оптоволокна – 3, фотодетектора – 4 (UPD-15-IR2-FC Alphalas) и DC-блока – 5. На вход оптоволокна, длина которого варьировалась, подавался смешанный сигнал через модулятор от лазера и анализатора цепей. Далее оптический сигнал фиксировался на фотодетекторе и преобразовывался в электромагнитный сигнал. DC-блок в этой схеме предназначен для защиты СВЧ элементов схемы от постоянного напряжения.

Часть экспериментальной установки представляла собой активное кольцо, которое включает в себя следующие элементы: спин-волновую линию задержки – 6; систему постоянных магнитов – 7, управляемый аттенюатор – 8, усилитель СВЧ сигнала (Mini-Circuits ZX10-2-183-S+) – 9, циркулятор – 10, согласованную нагрузку – 11, ферритовый вентиль – 12, анализатор спектра – 15.

Макет спин-волновой линии задержки представлял собой две микрополосковые антенны для возбуждения и приёма спиновых волн, расстояние между которыми

составляло 5,2 мм. Сверху на возбуждающую и приёмную антенны накладывался волновод спиновых волн, изготовленный из плёнки железо-иттриевого граната (ЖИГ), толщиной 5 мкм, шириной 2 мм, длиной 2 см. Для предотвращения отражения волн концы волновода были сточены под острыми углами. Измерительный макет был помещён в постоянное магнитное поле, напряжённостью 1087 Э. Поле подмагничивания было направлено в плоскости плёнки, вдоль антенн, что позволяло возбуждать исследуемом образце поверхностные спиновые волны (ПСВ). Такая величина магнитного поля обеспечивала центральную рабочую частоту фильтра порядка 5 ГГц. Несущие волны, ушедшие в нерабочем направлении в сторону скошенного под острым углом конца плёнки феррита, затухали и не оказывали влияние на результаты измерений.

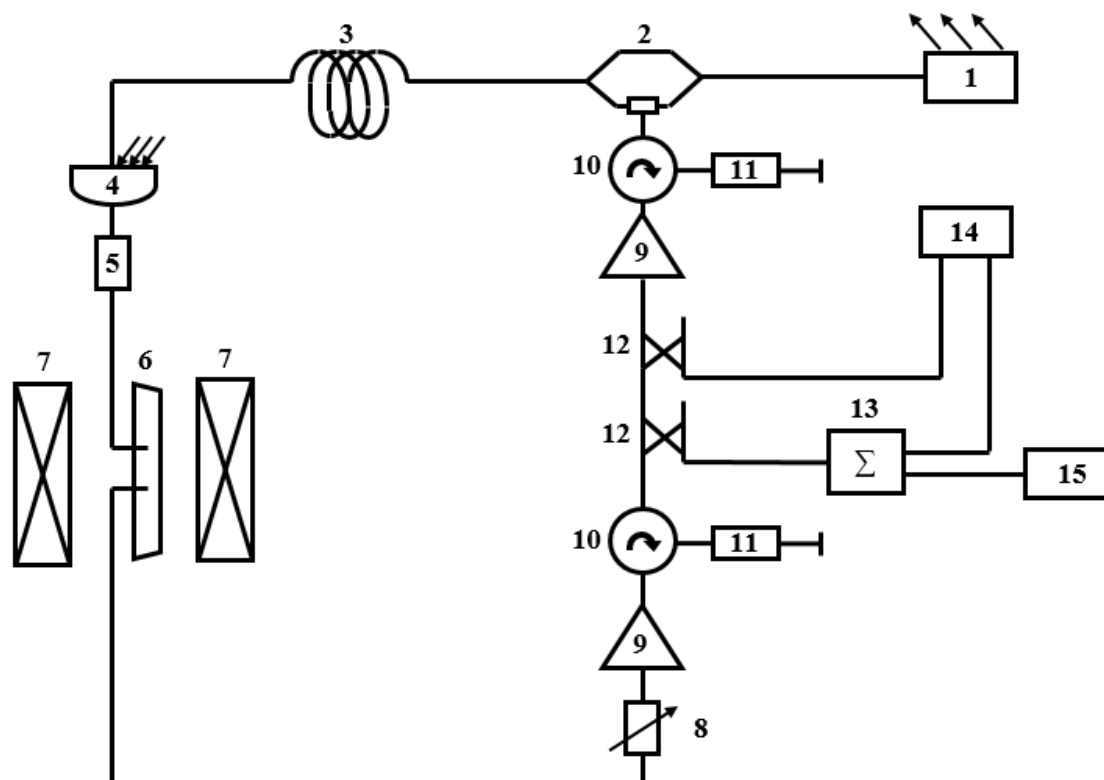


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Переменный аттенюатор использовался для плавного управления коэффициентом усиления сигнала в кольце. Циркулятор использовался, чтобы избежать влияния отражённого от макета сигнала на параметры цепи. Часть сигнала из активного кольца отщеплялась направленным ответвителем и подавалась на вход сумматора – 13 и оттуда на анализатор спектра (Spectrum Analyzer Hewlet Packard 8563A) и векторный анализатор цепей (Vector Network Analyzer Rohde&Schwarz ZVA40) – 14. Векторный анализатор цепей использовался для снятия передаточных характеристик активного кольцевого резонатора. Анализатор спектра был использован для контроля режима работы резонатора. При помощи анализатора спектра контролировалось отсутствие гармоник генерации.

Длина оптоволоконного тракта позволяла управлять крутизной фазо-частотной характеристики фильтра и, соответственно, его добротностью. Для ввода и вывода СВЧ сигнала в схему включались дополнительно два направленных ответвителя. Данная конструкция подобно конструкции радиофотонного генератора, представленного, например, в [4], однако, в отличие от генератора данная схема работает в пассивном режиме, когда потери внутри кольцевой схемы на несколько децибел превышают значение

коэффициента усиления СВЧ усилителя. Фильтрация СВЧ сигнала в такой системе происходит на частотах, для которых выполняется условие баланса фаз.

Было исследовано влияния длины оптического тракта и геометрии спин-волновой линии задержки на передаточные характеристики фильтра. Экспериментально получено, что линейное увеличение длины оптического тракта с 1 до 200 метров приводит к линейному росту добротности резонансных пиков фильтра с 20 000 до 350 000. Продемонстрировано, что варьируя различные параметры спин-волновой линии задержки можно добиться дополнительной частотной селекции мод радиофотонного фильтра. Например, меняя расстояние от пленки феррита до микрополосковых антенн можно добиться режима моночастотной фильтрации СВЧ сигнала. Была продемонстрирована перестройка резонансных частот радиофотонного фильтра в полосе 1,5 ГГц путем изменения величины поля подмагничивания.

Таким образом, была продемонстрирована, возможность применения радиофотонного активного кольца, содержащего спин-волновую линию задержки в качестве основы перестраиваемого высодобротного фильтра СВЧ-сигнала. При этом частотными характеристиками фильтра можно эффективно управлять путем подбора спин-волнового элемента и длины радиофотонного тракта.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы" (соглашение 14.575.21.0157).

Библиографический список

1. A. J. Seeds, "Microwave photonics," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 50, no. 3, pp. 877–887, Mar. 2002.
2. C. H. Cox, III, E. I. Ackerman, G. E. Betts, and J. L. Prince, "Limits on the performance of RF-over-fiber links and their impact on device design," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 54, no. 2, pp. 906–920, Feb. 2006.
3. J. Capmany and D. Novak, "Microwave photonics combines two worlds," Nature Photon., vol. 1, pp. 319–330, Jun. 2007.
4. А.Б. Устинов, А.А. Никитин, Б.А. Калиникос, "Электронно-перестраиваемый спин-волновой оптоэлектронный генератор сверхвысокочастотных сигналов", ЖТФ, том 85, вып. 9, С. 136-140, 2015.