

## **Волноводный перестраиваемый полосно-пропускающий СВЧ фильтр на магнитоэлектрических спиновых волнах**

*В статье описывается волноводный перестраиваемый полосно-пропускающий СВЧ фильтр на магнитоэлектрических спиновых волнах сантиметрового диапазона частот. Приведены параметры фильтра. Разработанный фильтр предназначен для модернизации существующих радиосистем с волноводными трактами с целью улучшения их тактико-технических характеристик.*

**Ключевые слова:** перестраиваемые СВЧ фильтры, магнитоэлектрические спиновые волны

В ряде современных радиотехнических систем существует потребность в волноводных перестраиваемых полосно-пропускающих фильтрах (ППФ). На сегодня ОАО «Завод Магнетон» выпускает электрически перестраиваемые фильтры только с коаксиальными и микрополосковыми выводами [1]. Волноводные ППФ отсутствуют в перечне продукции.

Целью данной работы являлось создание единичных опытных образцов электрически перестраиваемых волноводных ППФ на магнитоэлектрических спиновых волнах (МСВ) с высокой избирательностью и малым временем перестройки.

В настоящее время отечественными и зарубежными предприятиями выпускаются волноводные фильтры на фиксированные частоты, с механической перестройкой частоты [2] и, наиболее близкий аналог, ферритовые электрически перестраиваемые на объемных резонаторах [3]. Перестраиваемые фильтры на объемных резонаторах имеют значительное энергопотребление и большое время перестройки.

Конструкция фильтра состоит из металлического корпуса, внутри которого расположены электрически перестраиваемый микрополосковый ППФ на МСВ, производства ОАО «Завод Магнетон», и волноводно-микрополосковые переходы (ВМПП). Вход и выход фильтра волноводные прямоугольного сечения 28,5 x 12,6 мм. На рис.1 показан внешний вид микрополоскового ППФ на МСВ, а на рис.2 - его типичная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

ВМПП разработаны с учетом диапазона перестройки фильтра, минимальной длины и достаточного согласования внешнего тракта с фильтром. В конструкции ВМПП использован ступенчатый переход с прямоугольного волновода на П-образный [4] (рис.3). На противоположной стороне перехода «гребень» П-образного волновода подключен к 50-омной микрополосковой линии.

Расчет и оптимизация переходов произведена путем компьютерного электромагнитного моделирования в среде программного пакета Ansoft (см. рис.4, а – модель корпуса, б – кривая КСВн после оптимизации). При построении модели фильтр был заменен платой с отрезком 50-омной микрополосковой линии. В результате рассматривалась конструкция с двумя последовательно соединенными ВМПП.

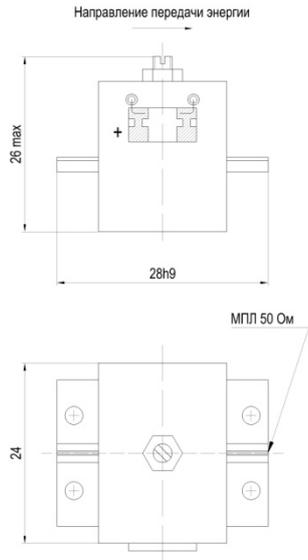


Рисунок 1

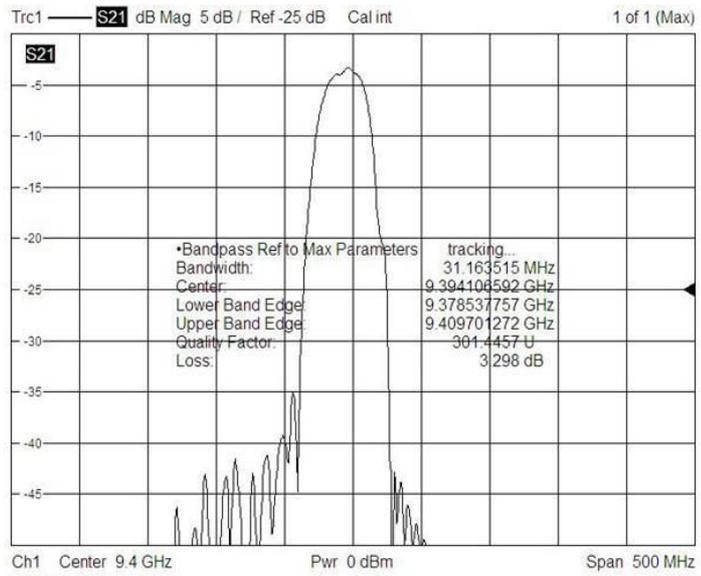


Рисунок 2

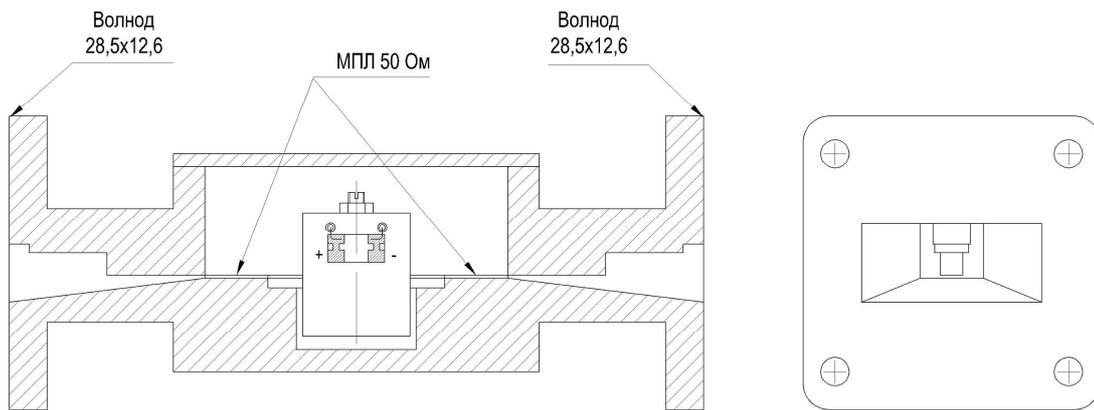
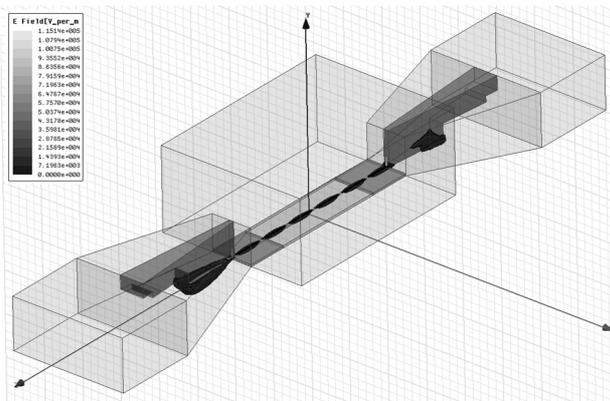
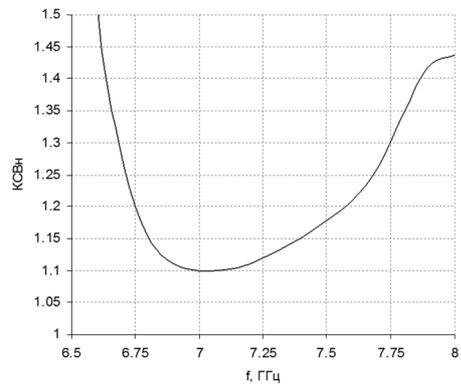


Рисунок 3



а)



б)

Рисунок 4

После оптимизации геометрии переходов получены следующие расчетные параметры: КСВн не более 1,2 и вносимые потери не более 0,25 дБ в полосе частот более 10%, что достаточно для согласования волноводного тракта с микрополосковым фильтром на МСВ в диапазоне его электрической перестройки частоты. Относительно неширокая полоса переходов в данном случае играет положительную роль - улучшаются селективные свойства конструкции, так как увеличивается заграждение вне диапазона перестройки микрополоскового фильтра за счет рассогласования ВМПП (увеличение КСВн на графике).

В соответствии с моделью были изготовлены детали корпуса. Высокая точность изготовления позволила получить электрические параметры, близкие к результатам моделирования.

Для экспериментальной проверки ВМПП в корпус конструкции была установлена плата с 50-омной микрополосковой линией (как и в расчетной модели). Измерения двух последовательно соединенных ВМПП показали, что максимальные вносимые потери в рабочем диапазоне составили 0,5 дБ, КСВн – не более 1,35.

Далее в подготовленный корпус монтировался микрополосковый ППФ на МСВ, собранный и настроенный согласно технологии изготовления в том же диапазоне частот, что и ВМПП. Внешний вид полученного волноводного ППФ и его типичная АЧХ приведены рис.4 и 5 соответственно.

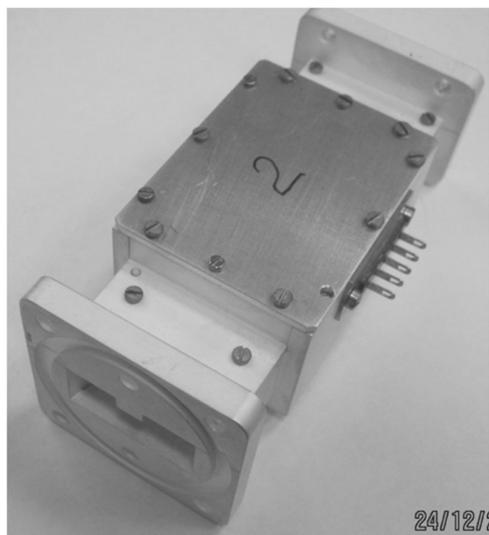


Рисунок 4

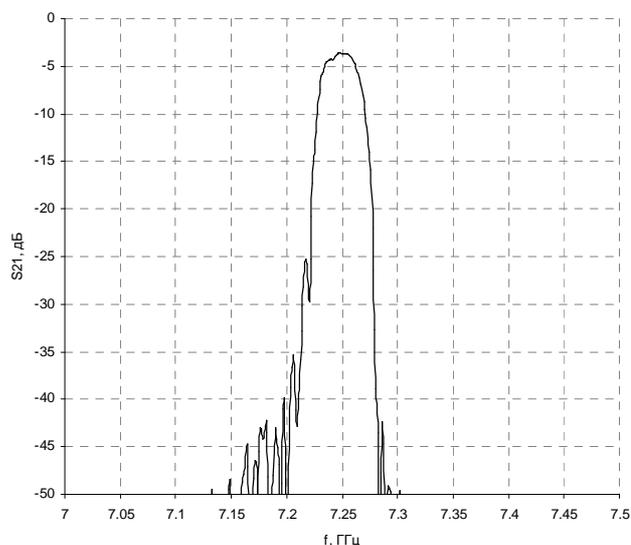


Рисунок 5

Основные параметры волноводного ППФ приведены в таблице 1.

Измерения проведены на векторном анализаторе цепей R&S ZVB20. Для подключения волноводного фильтра в измерительный тракт использованы два согласованных коаксиально – волноводных перехода (КВП).

Проведены измерения температурных уходов центральной частоты полосы пропускания ППФ в интервале температур минус 40..+65. Температурный дрейф составил  $\pm 3$  МГц.

Оценка времени перестройки проведена осциллографическим методом [5]. Время перестройки на 500 МГц составило 35 мкс.

Таблица 1

Параметр	Значение
Диапазон перестройки центральной частоты полосы пропускания, МГц	500
Минимальные потери в полосе пропускания, дБ	$\leq 4$
Полоса пропускания по уровню 3 дБ, МГц	30...40
КСВн на входе в полосе пропускания	$\leq 2$
Неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ	$\leq 0,5$
Ослабление при отстройке на -60 МГц и ниже по частоте, дБ	$\geq 32$
Ослабление при отстройке на +60 МГц и выше по частоте, дБ	$\geq 47$
Заграждение, дБ	$\geq 50$
Ток управления, мА	$\leq 160$
Крутизна перестройки, МГц/мА	3,2
Энергопотребление, Вт	$\leq 0,5$
Входная непрерывная мощность, мВт	10
Габариты (длина x ширина x высота), мм	110x47x47
Сечение волновода, мм	28,5x12,6

Таким образом, изготовлены не имеющие аналогов опытные образцы волноводных полосно-пропускающих перестраиваемых фильтров на МСВ сантиметрового диапазона частот для модернизации волноводных трактов современных радиотехнических систем.

#### Библиографический список

1. ОАО «Завод Магнетон» [Электронный ресурс]: Ферритовые СВЧ приборы: Перестраиваемые полосно-пропускающие фильтры Режим доступа: [www.magneton.ru](http://www.magneton.ru)
2. K&L Microwave: [Электронный ресурс]: Filters and Integrated Assemblies Режим доступа: [www.klmicrowave.com](http://www.klmicrowave.com)
3. Рогозин В.В., Чуркин В.И. Ферритовые фильтры и ограничители мощности,-М., Радио и связь, 1985–264 с
4. Конструирование и расчет полосковых устройств: Учебное пособие для вузов / под ред. Ковалева И.С. – М., Сов. Радио., 1974 – 296 с
5. Время перестройки полосно-пропускающих фильтров на монокристаллическом феррите/ В.А. Дубовой [и др.]. // Всероссийская научно-техническая конференция «Микроэлектроника СВЧ»: сборник материалов конференции (Санкт-Петербург, 4-7 июня 2012 г.) – Санкт-Петербург, 2012- Том 2 -С. 142-146.