

Исследование и изготовление широкодиапазонных двух-, трех- и четырехзвенных полосно-пропускающих ЖИГ фильтров

Представлены результаты исследования и изготовления экспериментальных образцов полосно-пропускающих фильтров ЖИГ, перестраиваемых в широких диапазонах частот 1 – 8 ГГц, 3 – 18 ГГц, 8 – 24 ГГц, повышения уровня входной мощности фильтров перестраиваемых в диапазоне частот 1 – 8 ГГц.

Ключевые слова: Фильтры на ферритовых резонаторах, диапазон перестройки, минимальные потери в полосе пропускания, ширина полосы пропускания, заграждение вне полосы пропускания.

Известные двухзвенные фильтры ФФЛК2-17 [1], выпускаемые нашим предприятием, не работают при входной мощности 1-10 мВт, в интервале частот 1,0 до 1,5 ГГц, так как в них используются ферритовые резонаторы (ФР) марки 50 КГ, представляющие собой ориентированные в изотропном направлении миниатюрные монокристаллические сферы ЖИГ, с намагниченностью насыщения $4\pi M_s = 620$ Гс, для которых порог ограничения составляет 10 мкВт.

Для повышения уровня входной мощности были применены ФР с более низкой намагниченностью насыщения марки 30 КГ. При этом повышение коэффициента связи сфер с витковыми элементами связи (ВЭС) достигнуто за счет увеличения угла охвата.

Применение ФР марки 30 КГ исследовано в двух-, трех и четырехзвенных фильтрах в диапазоне частот от 1 до 10 ГГц.

На рис. 1 и в таблице 1 приведены параметры двухзвенного фильтра, выполненного на базе конструкции фильтра ФФЛК2-17 с использованием ФР марки 30 КГ.

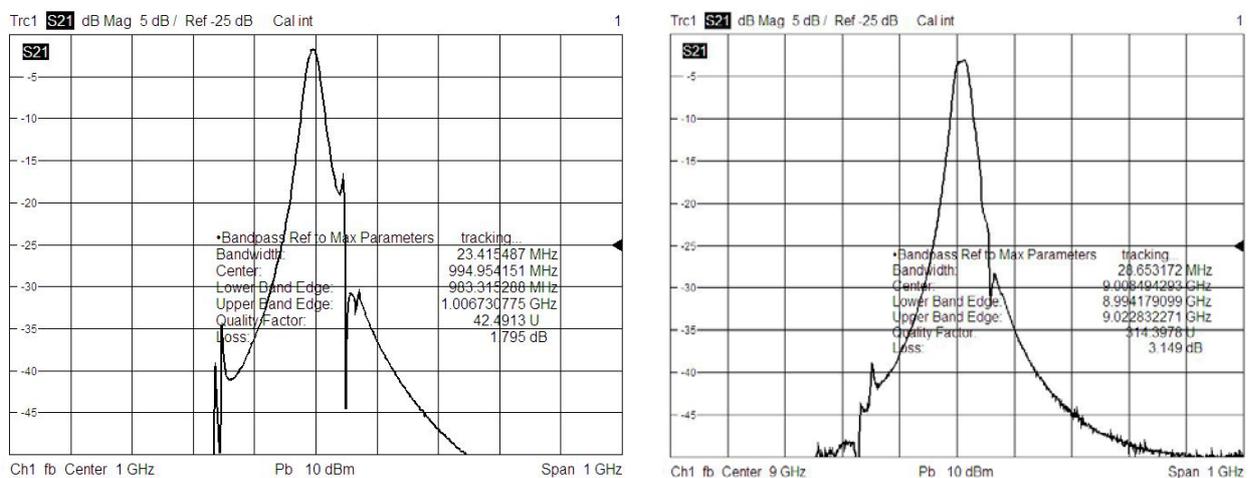


Рис. 1. АЧХ двухзвенного фильтра повышенной мощности

Фильтр имеет стабильную в диапазоне перестройки полосу пропускания, малый уровень паразитных резонансов, при заграждении (более 55 дБ).

Таблица 1 – Параметры двухзвенного фильтра диапазона частот 1 - 8 ГГц

Центральная частота, ГГц	1	2	4	6	8
Минимальные потери, дБ	2,1	2,5	2,3	2,6	3,2
Полоса пропускания по уровню минус 3 дБ, МГц	23	22	23	25	27
Неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ	1,5	0,1	0,1	0,2	0,6
Ток управления, мА	< 200				

Исследованы аналогичные по конструкции трехзвенные и четырехзвенные фильтры. На рисунках 2, приведены АЧХ трехзвенного фильтра на частотах 1 ГГц и 10 ГГц, а в таблице 2 параметры.



Рис. 2. АЧХ трехзвенного фильтра повышенной мощности в диапазоне частот от 1 до 10 ГГц

Фильтр имеет стабильную в диапазоне перестройки полосу пропускания, малый уровень паразитных резонансов, при достаточно высоком заграждении (более 60 дБ). Параметры одного из образцов трехзвенного фильтра приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры трехзвенного фильтра диапазона частот 1-10 ГГц

Центральная частота, ГГц	1	1,5	2	4	6	8	9	10
Минимальные потери, дБ	6,2	4,6	4	3,6	4,1	5,3	5,5	5,4
Полоса пропускания по уровню минус три дБ, МГц	22	21	20	20	21	22	23	23
Неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ	1,5	0,5	0,1	0	0	0	0	0
Ток управления, мА	< 510							

Четырехзвенный фильтр, по конструкции аналогичный двух- и трехзвенному, в диапазоне перестройки от 1 ГГц до 8 ГГц имеет минимальные потери не более 7,5 дБ, полосу пропускания 14 -17 МГц, неравномерность потерь не более 1,5 дБ и заграждение более 80 дБ.

В результате исследования получены образцы фильтров, перестраиваемых в диапазоне 1 – 8 ГГц и работающих при мощности 10 мВт.

Сравнение параметров двух-, трех- и четырехзвенных фильтров с ВЭС,

выполненными по одной и той же технологии и с использованием ФР одной марки с идентичными характеристиками показывает следующее (см. таблицы 1 и 2):

- минимальные потери существенно меньше в 2-х резонаторном фильтре, хотя полоса пропускания при этом практически не изменяется относительно полосы пропускания 3-х резонаторного фильтра. Как и следовало ожидать, загораживание, а также крутизна фронтов АЧХ (избирательность) увеличиваются, а уровень паразитных резонансов вне полосы пропускания уменьшаются с увеличением количества резонаторов в фильтре. Токи управления являются незначительными, габариты не превышают 35x35x40 мм. Для управления частотой этих фильтров разработан 12-разрядный драйвер параллельного кода.

Особенностью фильтров ЖИГ является широкий диапазон электрической перестройки частоты [2,3]. Исследованы фильтры с увеличенным диапазоном перестройки.

Трехзвенные фильтры диапазона 4 - 20 ГГц изготовлены на базе конструкции, позволяющей сократить зазор магнитной системы, диаметр ФР и диаметр ВЭС. За счет повышения уровня технологии изготовления ВЭС расширен диапазон перестройки. Магнитная система фильтра позволяет перестраивать фильтр в диапазоне частот до 20 ГГц и выше при незначительных габаритах (35x35x44 мм), малом энергопотреблении, отсутствии насыщения в магнитопроводе и нелинейности перестройки.

Таблица 3 – Параметры трехзвенного фильтра диапазона частот 3-19 ГГц

Центральная частота, ГГц	3	4	6	8	10	12	14	16	18	19
Минимальные потери, дБ	2,7	2,1	1,7	1,7	1,6	1,6	2,5	2,8	3,8	3,1
Полоса пропускания по уровню минус 3 дБ, МГц	38	41	37	37	45	46	56	64	85	19
Неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ	0,7	0	1,8	0	0,3	0,4	0	0	0,8	1,2
Загораживание, дБ	> 70									

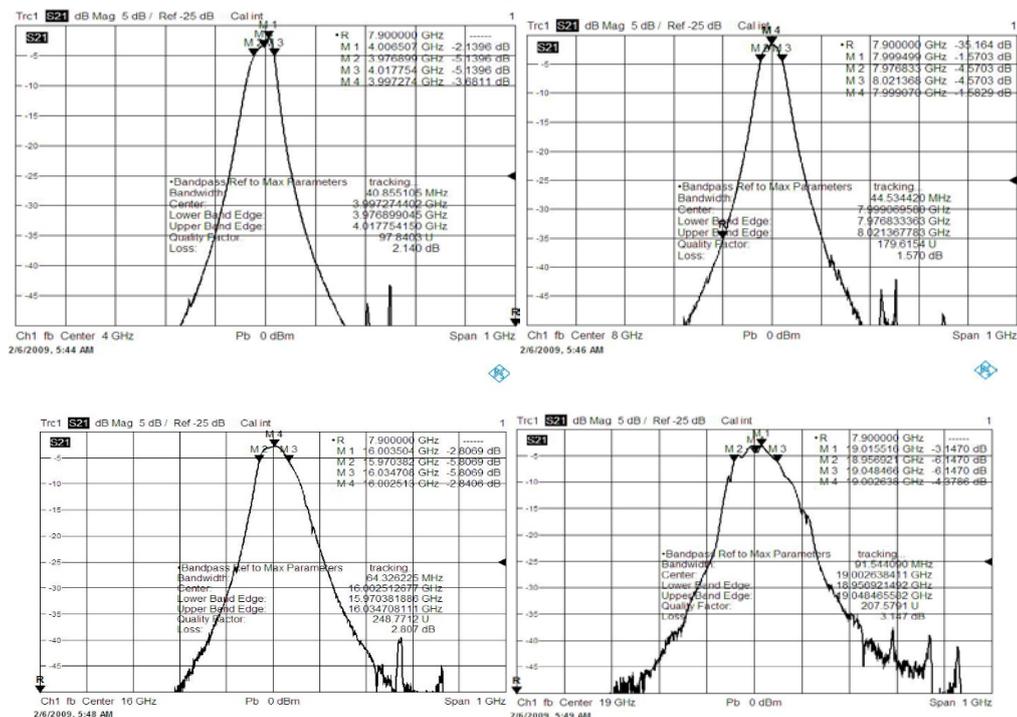


Рис. 3. АЧХ трехзвенного фильтра в диапазоне частот 4 - 20 ГГц

В процессе выполнения данной работы исследован рассмотренный трехзвенный фильтр в диапазоне частот 8 -20 ГГц. Параметры такого фильтра приведены в таблице 4, а АЧХ на рисунках 4.

Таблица 4 – Параметры трехзвенного фильтра диапазона частот 8-20 ГГц

Центральная частота, ГГц	8	10	12	15	18	20
Минимальные потери, дБ	2,2	1,9	2,4	2,0	2,1	2,8
Полоса пропускания по уровню минус три дБ, МГц	30	36	52	58	88	122
Неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ	0,3	0,3	0,7	0	0,3	0,6
Уровень паразитных резонансов, дБ	40	39	38	36	35	29
Заграждение, дБ	> 65					

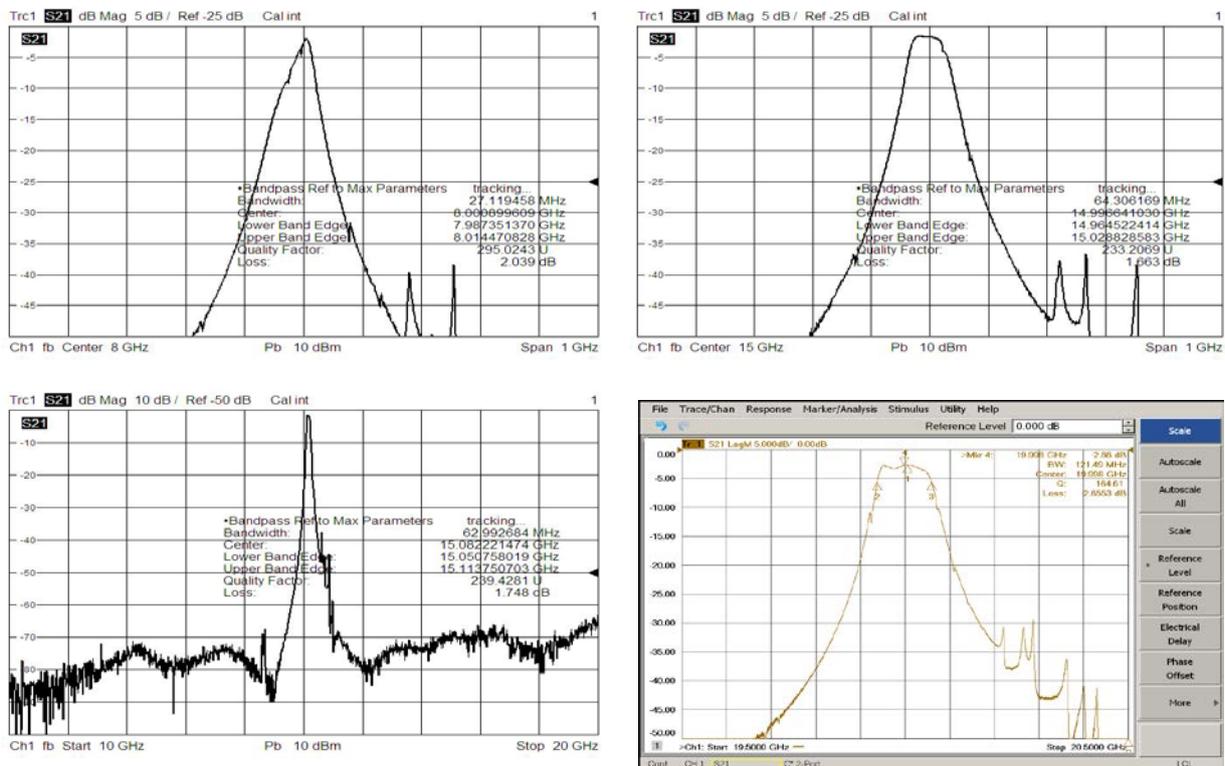


Рис. 4. АЧХ трехзвенного фильтра в диапазоне частот 8 - 20 ГГц

Сравнение трехзвенных фильтров, перестраиваемых в диапазонах частот 8 – 20 ГГц и 4 – 18 ГГц, как следовало ожидать, показывает, что в более узком диапазоне перестройки достигаются более низкие минимальные потери 3 дБ по сравнению с 4 дБ для фильтра более широким диапазоном перестройки и меньшая неравномерность потерь в полосе пропускания (1 дБ вместо 1,5 дБ).

Четырехзвенный фильтр диапазона частот 8-24 ГГц в первом варианте изготовлен на основе конструкции с зазором магнитной системы 0,9 мм, используемой для фильтров мм-диапазона 26 ГГц -36 ГГц [1]. Габаритные размеры электромагнита – 35x35x44 мм. Ток потребления не более 650 мА. Параметры 4-х звенного фильтра приведены в таблице 5 и на рисунках 5.

Таблица 5 – Параметры четырехзвенного фильтра диапазона частот 8-24 ГГц

Центральная частота, ГГц	8	10	12	15	18	20	22	24
Минимальные потери, дБ	3,9	3,3	4	3	3,3	3,9	4,5	3,8
Полоса пропускания по уровню минус 3 дБ, МГц	38	39	39	39	45	52	48	62
Неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ	0,4	0	0,6	0	0	0	0,2	0,5
Заграждение, дБ	> 75							

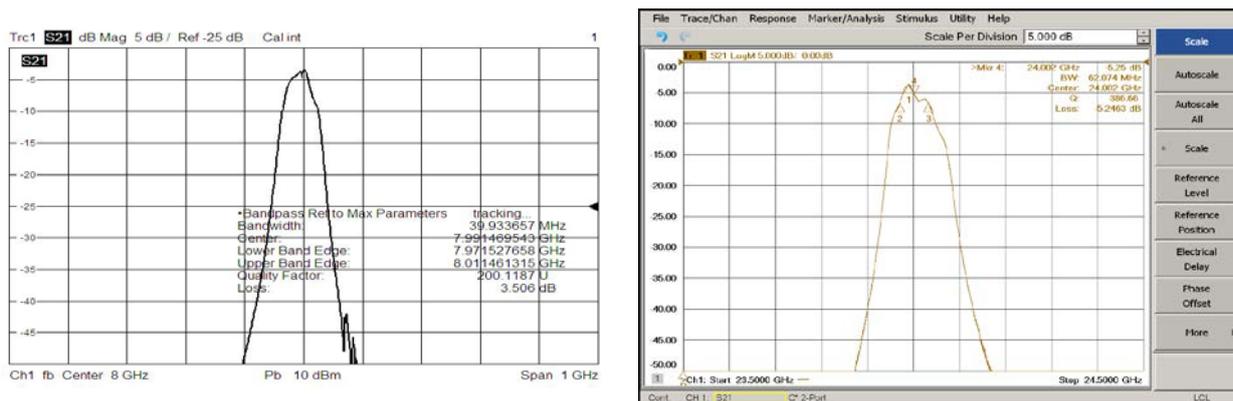


Рис. 5. АЧХ четырехрезонаторного фильтра в диапазоне частот 8 - 24 ГГц

В четырехзвенном фильтре второго варианта исполнения использована конструкция фильтра с зазором магнитной системы 1,25 мм для диапазона частот 12 – 18 ГГц [2,3]. Магнитопровод имеет размеры 35x35x44 мм.

Фильтр имеет минимальные потери менее 3 дБ в диапазоне перестройки при полосе пропускания 25 – 50 МГц, неравномерность потерь не более 1,5 дБ и заграждение более 80 дБ.

В заключение отметим, что исследование и отработка параметров некоторых из рассмотренных фильтров были проведены с целью поставки и определения возможности поставки опытных образцов фильтров заказчикам.

Библиографический список

1. Электронный ресурс [URL: http://www.magneton.ru/cat.php?id=104](http://www.magneton.ru/cat.php?id=104) Перестраиваемые полосно-пропускающие фильтры // ОАО "Завод Магнетон": официальный сайт. СПб. (24.03.2016).
2. Фирсенков А.И., Дубовой В.А., Чуркин В.И., Козин А. Э., Федин Д.Н., Устинов А.Б. Ферритовые СВЧ фильтры с электронной перестройкой полосы пропускания в широком диапазоне частот. Сборник статей IV всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», т.2, 1-4 июня 2015г, Санкт-Петербург, Россия, с.104-108
3. Фирсенков А.И., Дубовой В.А., Чуркин В.И., Козин А.Э., Федин Д.Н., Перестраиваемые полосно-пропускающие фильтры на основе ферритовых пленок и сферических резонаторов. Сборник статей V Всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», т.2, 30 мая - 2 июня 2016г, Санкт-Петербург, Россия, с.188 - 192.