

Рассмотрение возможности получения узких полос пропускания в фильтрах на резонаторах и плёнках ЖИГ в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн

Представлены перестраиваемые фильтры на ферритовых резонаторах и плёнках с коаксиальными выводами. Приведены параметры экспериментальных образцов фильтров. Рассмотрены параметры фильтров с узкой полосой пропускания.

Ключевые слова: железо-иттриевый гранат, ферритовые резонаторы, перестройка центральной частоты, полосно-пропускающий фильтр, магнитостатические волны

В электрически перестраиваемых фильтрах на ферритовых резонаторах обычно востребованная ширина полосы пропускания лежит в следующих пределах в зависимости от заданного диапазона длин волн [1-5]: 10 -20 МГц в метровом диапазоне, 15 – 30 МГц в дециметровом диапазоне, 25 – 50 МГц в сантиметровом диапазоне. При этом, минимальные потери в полосе пропускания при октавной перестройке резонансной частоты фильтра в зависимости от количества ферритовых резонаторов не превышают: 2,5 дБ – двухзвенные фильтр, 3-4 дБ – четырёхзвенные фильтры, 5-6 дБ шестизвенные фильтры. Также известны фильтры на ферритовых резонаторах с шириной полосы пропускания 250 – 500 МГц в сантиметровом диапазоне волн [1-3].

Целью данной работы было получение предельно узких полос пропускания в фильтрах на ферритовых резонаторах (ФР) и плёнках ЖИГ в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн. Фильтры могут быть использованы для подавления гармонических составляющих, выделения сигналов из сетки частот.

Ширина полосы пропускания ферритового однозвенного ферритового фильтра на ортогональных витках связи (ВС) определяется выражением

$$2\Delta f = \gamma 2\Delta H(1 + K), \quad (1)$$

где $\gamma = 2.8$ МГц/Э, $2\Delta H$ -ширина линии ферромагнитного резонанса, k - коэффициент связи ФР с ортогональными ВС. При этом коэффициент связи находят по формуле:

$$K = \frac{\gamma \cdot 4\pi M_s \cdot R^3}{\omega \cdot r} \varphi, \quad (2)$$

где $\omega = 2\pi f$ - частота сигнала, R - радиус ФР, r - радиус ВС, φ – угол охвата витком связи ФР.

Выражения (1), (2) показывают, что для уменьшения ширины полосы пропускания фильтра необходимо уменьшать связь ФР с витками связи и собственную ширину линии ФМР ($2\Delta H$), а именно: уменьшать радиус ФР, увеличивать радиус ВС.

Однако, как показано в работе [6] уменьшение полосы пропускания однозвенного фильтра приводит к увеличению резонансных (минимальных) потерь в полосе пропускания, что является нежелательным фактором. Аналогичные закономерности имеют место в многозвенном фильтре, то есть содержащем несколько ФР.

При исследованиях использовались экспериментальные образцы двухзвенных ферритовых фильтров с коаксиальными входом и выходом, изготовленные для соответствующих диапазонов длин волн.

Исследование в дециметровом диапазоне длин волн проводилось на частоте 3,0 ГГц ± 0,5 ГГц, при этом были рассмотрены ФР различных марок и с разными параметрами и с разным размещением в ортогональных ВС, имеющих диаметр 1 мм (см. таблицу 1).

Таблица 1

№	Марка кристалла, 4πMs	Диаметр ФР, 2r = Ø, мм	Ширина линии ФМР (2ΔH, Э)	Δf ₃ , МГц	α _{min} , дБ	Примечание
1	50КГ, 650Гс	0,4	≈0,5	12	7	При разном удалении ВС от ФР
				3	19	
2	35КГ, 420Гс	0,55	≈0,5	10	7	
3	65КГ, 820Гс	0,45-0,5	≈0,3	7	3,0	При разном удалении ВС от ФР
				3-4	6,5-7	

Результаты испытаний параметров фильтров с различной полосой пропускания, изготовленных на ФР марки 65КГ приведены на рисунках 1,2.

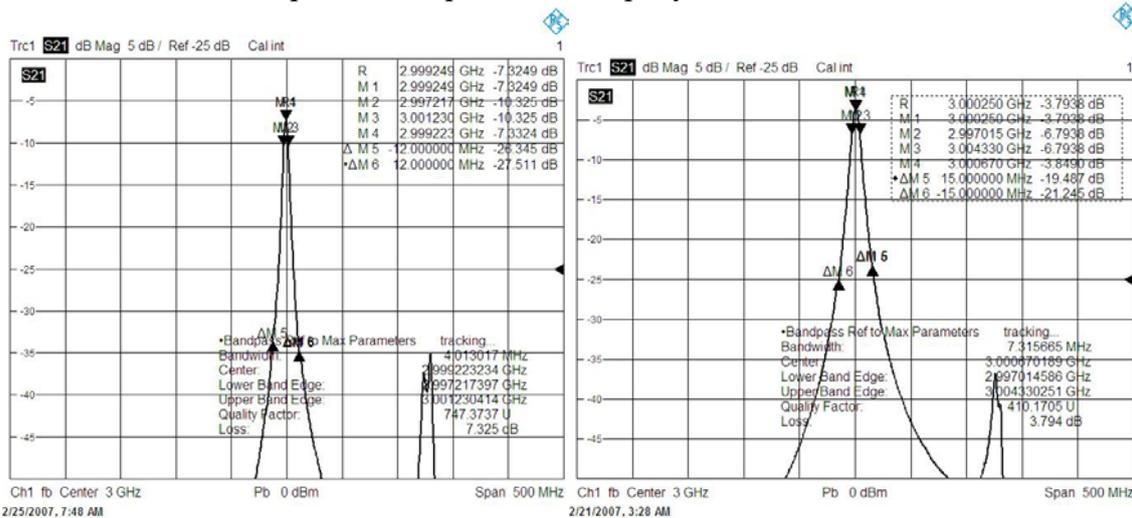


Рисунок 1.

Рисунок 2.

Исследование в сантиметровом диапазоне длин волн проводилось на частоте 14 ГГц ±1,0 ГГц, при этом были рассмотрены ФР трёх марок с разными параметрами и с разным удалением ортогональных ВС от ФР (см. таблицу 2).

Результаты испытаний параметров фильтров приведены в таблице 2, АЧХ фильтра приведена на рисунке 3.

Таблица 2

№	Марка кристалла, 4πMs, Гс	Диаметр ФР, 2r = Ø, мм	Ширина линии ФМР (2ΔH, Э)	Удаление ортогональных ВС от ФР, мм	Δf ₃ , МГц	α _{min} , дБ
1	50КГ	0,43	0, 8–1,0	≈0,5	17	7
2	65КГ	0,52	0,6	≈0,6	12-15	5,5-6
3	140КГ	0,415	0,5	≈0,6	13	2,7
				≈0,8	10,6	3,0
				≈0,9	8,0	3,5

Температурные испытания ферритового фильтра, содержащего ФР марки 140КГ при настройке на ширину полосы пропускания $\Delta f_3 = 8$ МГц при минимальных потерях 3 дБ приведены ниже:

- $T = 20^\circ\text{C}$, $\Delta f_3 = 8$ МГц, $\alpha_{\min} = 3,5$ дБ, $\Delta\alpha = 0$ дБ;
- $T = +70^\circ\text{C}$, $\Delta f_3 = 8,5$ МГц, $\alpha_{\min} = 5,1$ дБ, $\Delta\alpha = 0$ дБ;
- $T = -60^\circ\text{C}$, $\Delta f_3 = 11$ МГц, $\alpha_{\min} = 4,5$ дБ, $\Delta\alpha = 0$ дБ.

При перестройке частоты фильтра в пределах 13-15 ГГц параметры практически не изменялись.

На частоте 9,3 ГГц исследован четырехзвенный фильтр. В фильтре применены ФР марки 140 КГ. АЧХ фильтра приведена на рисунке 4. Фильтр имеет полосу пропускания 16 МГц и минимальные потери 5,5 дБ. При дополнительной доработке можно ожидать уменьшение полосы пропускания до 10 МГц при потерях 6 – 7 дБ.

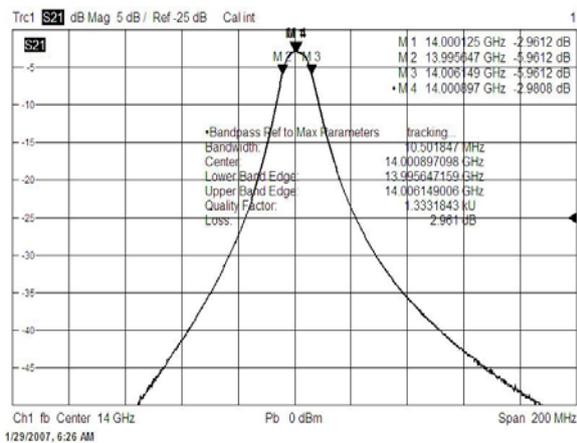


Рисунок 3

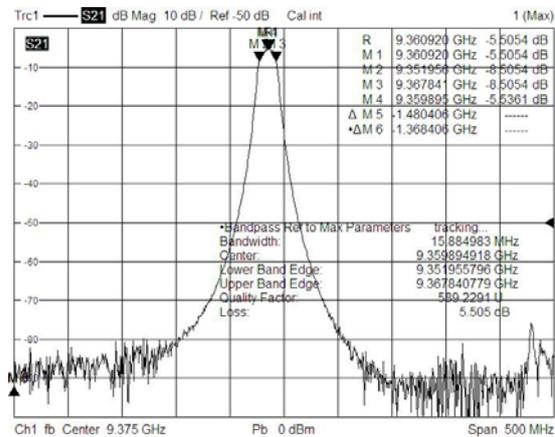


Рисунок 4

Анализируя результаты экспериментальных исследований, можно сделать следующие рекомендации по получению минимально возможной ширины полосы пропускания фильтров на ФР:

1. Для заданного диапазона частот ($f_{\min} - f_{\max}$) ферритового фильтра необходимо выбрать наибольшую намагниченность насыщения $4\pi M_s$ монокристалла, при которой входная рабочая мощность фильтра не меньше $1,0 \div 10$ мВт, то есть $f_{\min} \geq 2/3 \gamma 4\pi M_s$ [6].
2. Собственная добротность ферритовых резонаторов, обратно пропорциональная ширине линии ФМР, должна быть как можно большей, то есть $2\Delta N \leq 0,2 \div 0,5\%$.
3. Диаметр ферритовых резонаторов не должен превышать 0,35 – 0,5 мм.
4. Увеличивая количество ФР в многозвенном фильтре для достижения узкой ширины полосы пропускания необходимо придерживаться пунктов 1-3.

Узкополосные перестраиваемые фильтры могут быть построены на другом принципе, использующем поверхностные магнитостатические волны (МСВ). Узкая полоса пропускания в таких фильтрах достигается за счет малой толщины ферритовой пленки и удаления волновода МСВ от преобразователей МСВ.

Макет фильтра был изготовлен в 10 см диапазоне длин волн. Фильтр имеет диапазон электрической перестройки 250 МГц, небольшие габариты 20 x 26 x 26 мм. На рисунке 5 приведена АЧХ фильтра с полосой пропускания 9 МГц и минимальными потерями 10 дБ.

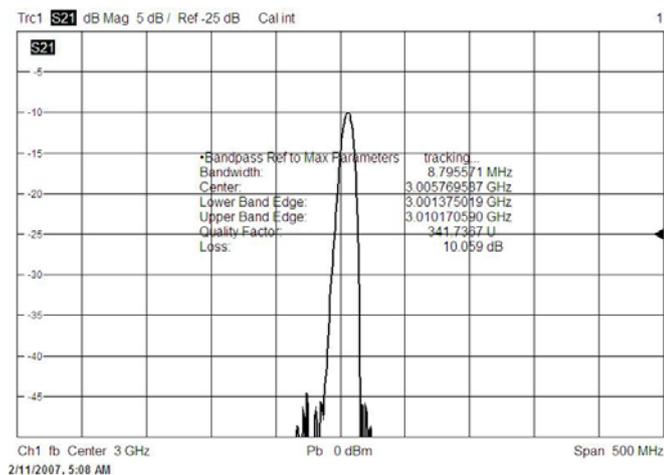


Рисунок 5

В заключение отметим высокую нагруженную добротность фильтров 300 - 1400 при невысоких потерях 3 – 10 дБ. Это объясняется в основном такими свойствами железо-иттриевого граната, как узкая ширина линии ферромагнитного резонанса ($2\Delta H = 0,2 - 0,4 \text{ Э}$), причем добротность ФР, изготовленных из ЖИГ не зависит от объема ФР ($V = 0,12 - 0,2 \text{ мм}^3$).

Библиографический список

1. Micro Lambda Wireless, Inc [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.Micro-lambda.com
2. Teledyne Microwave Solutions [Электронный ресурс]: Microwave filters – the complete microwave solution. Режим доступа: www.teledynemicrowave.com
3. WestMag Technology Corporation Ltd. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.chinawestmag.com.
4. Каталог Ferrite International (НИИ «Домен»).
5. ОАО «Завод Магнетон» [Электронный ресурс]: Ферритовые СВЧ приборы: Перестраиваемые полосно-пропускающие фильтры. Режим доступа: www.magneton.ru
6. В.В. Рогозин, В.И. Чуркин «Ферритовые фильтры и ограничители мощности, «Радио и связь», М, 1985, с 134.