

Рассмотрение возможности получения широкого диапазона перестройки четырехзвенных фильтров на ферритовых резонаторах в микрополосковом исполнении

Представлены малогабаритные четырехзвенные фильтры на ферритовых резонаторах с микрополосковыми выводами. Приведены параметры экспериментальных образцов фильтров в широком диапазоне электрической перестройки

Ключевые слова: ферритовые резонаторы, перестройка центральной частоты, полосно-пропускающий фильтр, микрополосковые выводы

В работах [1,2] приведены результаты исследования и разработки трехзвенных фильтров на ферритовых резонаторах (ФР) в микрополосковом исполнении в различных участках диапазона частот 400-4000 МГц, имеющих электрическую перестройку частоты, а в образцах на более высокие частоты и механическую перестройку с использованием подвижного постоянного магнита [3]. При этом диапазон перестройки частоты трехзвенных широкодиапазонных фильтров без постоянных магнитов достигает октавы.

Целью данной работы является создание четырехзвенных фильтров на ФР в микрополосковом исполнении с максимально возможным диапазоном перестройки. Общеизвестно, что четырехзвенные фильтры относительно трехзвенных имеют более высокую избирательность по частоте (24 дБ/окт вместо 18дБ/окт), а также более высокое подавление паразитных резонансов.

Четырехзвенный фильтр создан на базе конструктивно - технологической базе трехзвенного фильтра ФПИНЗ-4, при этом в нем использован металлизированный пластмассовый корпус от коаксиального четырехзвенного фильтра ФКИНЗ-10 (ФКИНЗ-11). В фильтре доработан наконечник верхнего магнитопровода по высоте и диаметру, и незначительно изменена катушка управления. На рисунке 1 показан внешний вид фильтра.



Рисунок 1

Четырехзвенный фильтр с микрополосковыми выводами диапазона частот 1,0 – 3,0 ГГц

В резонансных камерах пластмассового корпуса фильтра, имеющих диаметр 1,8 мм, высоту 1,6 мм расположены под прямым углом полукруглые витковые элементы связи (ВЭС) (угол охвата ФР $\varphi=3\pi$). В качестве ФР использованы монокристаллические сферы марки 35 КГ. ФР ориентированы в изотропном направлении (по «тепловой оси»). Габариты фильтра 30x30x13,5 мм.

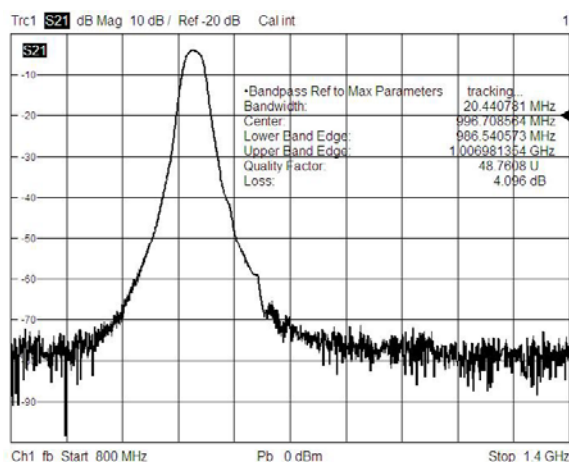
Параметры исследованного образца фильтра (центральная частота $f_{ц}$, минимальные потери в полосе пропускания α_{min} , полоса пропускания по уровню минус 3 дБ Δf_3 , неравномерность потерь в полосе пропускания $\Delta\alpha$, загораживание β , ток управления перестройкой I_y) приведены в таблице 1.

Таблица 1

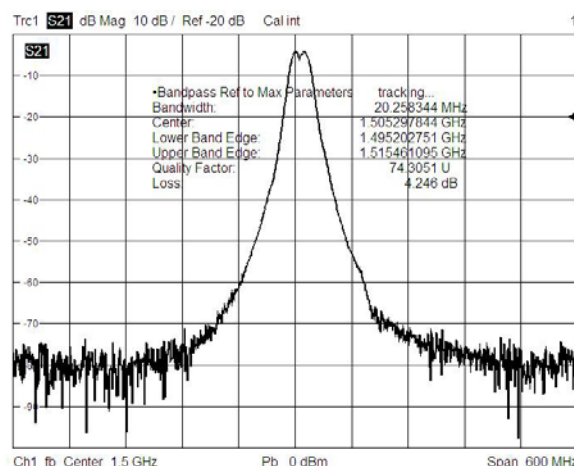
№ п.п	Параметр	Значения параметров						
		1,0	1,2	1,55	1,8	2,2	2,5	3,0
1	$f_{ц}$, ГГц	1,0	1,2	1,55	1,8	2,2	2,5	3,0
2	α_{min} , дБ	4,0	3,7	4,2	3,9	3,6	3,6	3,9
3	Δf_3 , МГц	20	20	20	18	18	18	19
4	$\Delta\alpha$, дБ	0	0	1,6-1,8	0	0	0,6	1,5
5	β , дБ	80	80	80	80	80	80	80
6	I_y , мА	190	230	320	360	450	490	560

Фильтр обеспечивает минимальные потери $\alpha_{min} \approx 4$ дБ в диапазоне перестройки 1,5 октавы и небольшую неравномерность потерь в полосе пропускания в диапазоне частот 1,0 - 1,4 ГГц и 1,8 - 2,5 ГГц.

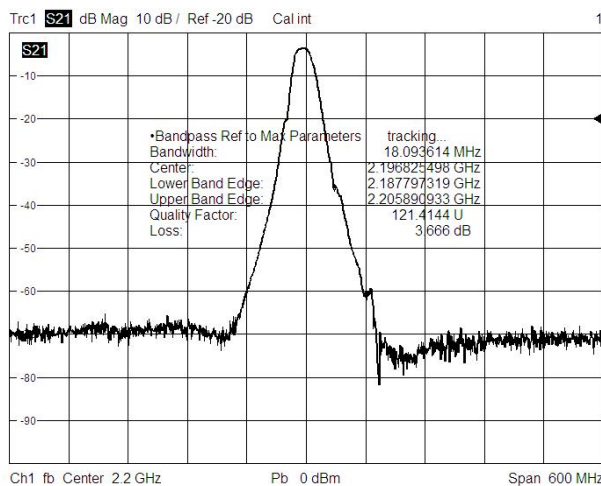
На рисунках 2 приведены АЧХ фильтра при перестройке частоты, показывающие его работу. Температурные испытания проведены в интервале температур от +20°C до +70 °С. Уход центральной частоты на частоте настройки 2 ГГц составил 8 МГц. Параметры и АЧХ практически не изменились во всем диапазоне перестройки. Минимальные потери не превысили 4,4 дБ. Результаты проведенного исследования показывают возможность разработки четырехзвенных фильтров в более узких диапазонах перестройки с более широкой полосой пропускания, меньшими потерями в полосе пропускания и широким интервалом рабочих температур.



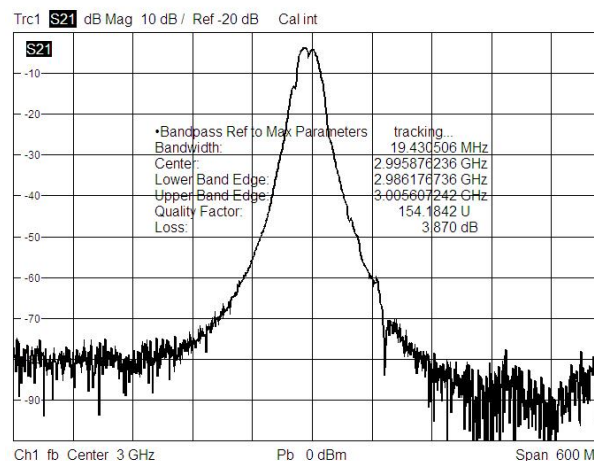
Центральная частота 1 ГГц



Центральная частота 1,5 ГГц



Центральная частота 2,2 ГГц



Центральная частота 3 ГГц

Рисунок 2

Четырехзвенный фильтр с микрополосковыми выводами диапазона частот 2,0 – 4,5 ГГц

Фильтр в этом диапазоне выполнен аналогично рассмотренному, однако высота фильтра увеличена до 16,5 мм за счет верхней части электромагнита для избежания перегрева катушки управления. В фильтре использованы ФР марки 50 КГ.

В таблице 2 приведены параметры четырехзвенного фильтра в широком диапазоне перестройки. В скобках приведены параметры трехзвенного фильтра, работающего в октавном диапазоне [2].

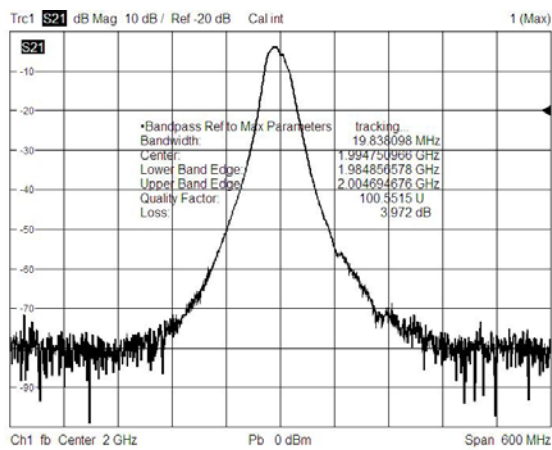
Таблица 2

№ п.п	Параметр	Значения параметров					
		2,0	2,4	3,0	3,4	4,0	4,5
1	$f_{ц}$, ГГц	2,0	2,4	3,0	3,4	4,0	4,5
2	α_{min} , дБ	3,9 (3,1)	3,9	3,6	3,8	3,8 (3,5)	4,0
3	Δf_3 , МГц	20 (32)	22	24	25	30 (40)	32
4	$\Delta\alpha$, дБ	0 (0)	0	0	0	0 (1,2)	0,3
5	β , дБ	80	80	72	70	60	54
6	I_y , мА	190	230	290	330	390	450

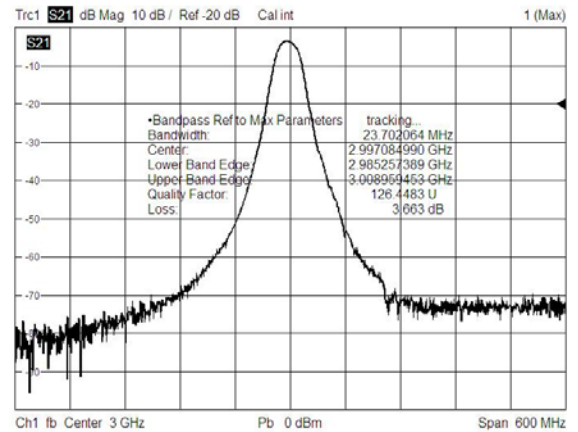
Из таблицы 2 следует, что диапазон перестройки четырехзвенного фильтра составляет более октавы, при этом значение α_{min} четырехзвенного фильтра близко к α_{min} трехзвенного фильтра, который имеет при этом более широкую полосу пропускания. При перестройке центральной частоты от 2,0 до 4,5 ГГц минимальные потери практически не изменились. На рисунках 3,4 приведены АЧХ четырехзвенного микрополоскового фильтра, иллюстрирующие его параметры при перестройке частоты в диапазоне от 2,0 до 5,0 ГГц. АЧХ показывают, что заграждение вне полосы пропускания микрополосковых четырехзвенных фильтров уменьшается на частотах, начиная с 3,0 ГГц (на частоте 5,0 ГГц заграждение ≈ 50 дБ).

Температурные испытания фильтров были проведены на частоте настройки 3,0 ГГц в интервале от +20°C до +70 °C. Уход центральной частоты составил минус 5 МГц. Параметры и АЧХ практически не изменились в диапазоне перестройки от 2 до 4 ГГц, минимальные потери не превысили 4,5 дБ.

В заключение отметим, что проведенные исследования показывают возможность разработки четырехзвенных фильтров в широком диапазоне перестройки 1,0 – 3,0 ГГц и 2,0 – 4,5 ГГц с приемлемыми параметрами. Однако в диапазоне 2,0 – 4,5 ГГц на высоких частотах ($f > 3$ ГГц) наблюдается уменьшение заграждения вне полосы пропускания. Очевидно, что проведенные исследования могут быть использованы для разработки четырехзвенных микрополосковых фильтров в более узких участках рассмотренных диапазонов перестройки с улучшенными параметрами: меньшими α_{\min} , более широкими Δf_3 , расширенным интервалом рабочих температур от минус 50 до +85 °С.

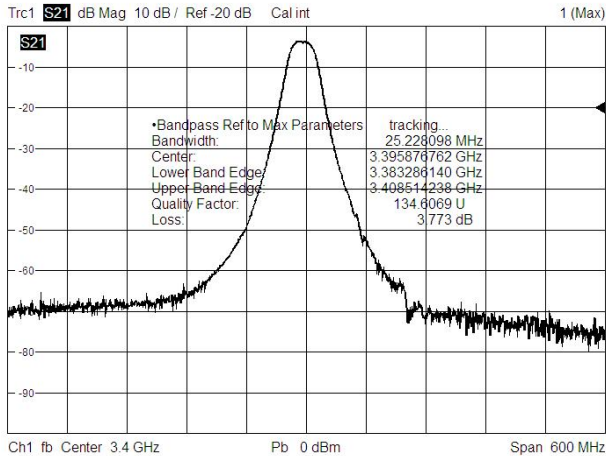


Центральная частота 2 ГГц

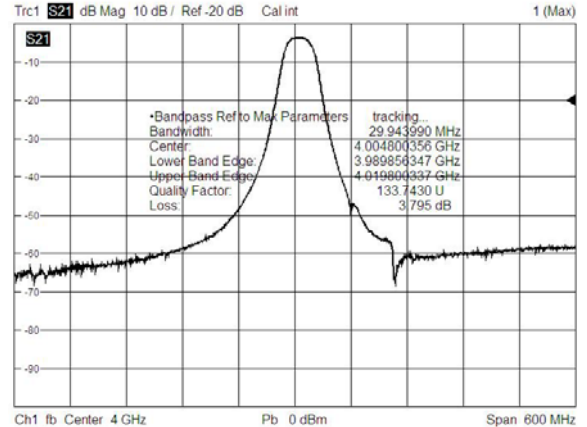


Центральная частота 3 ГГц

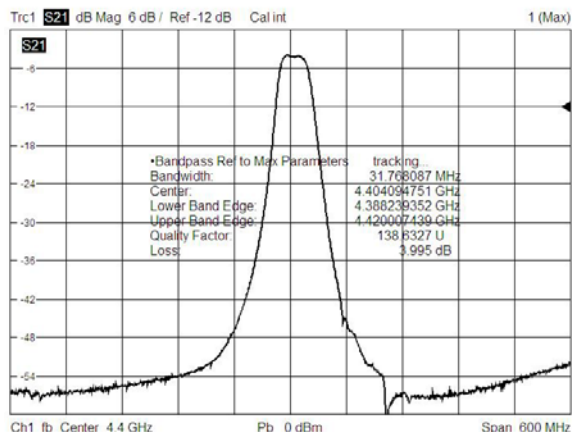
Рисунок 3



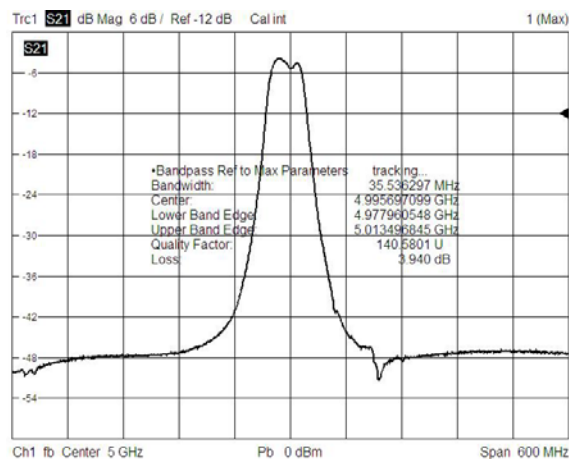
Центральная частота 3,4 ГГц



Центральная частота 4 ГГц



Центральная частота 4,4 ГГц



Центральная частота 5 ГГц

Рисунок 4

Библиографический список

1. ОАО «Завод Магнетон» [Электронный ресурс]: Ферритовые СВЧ приборы: Перестраиваемые полосно-пропускающие фильтры. ЕСКФ.430441.015 ТУ. ФПИНЗ-4, ФНИНЗ-4А. Режим доступа: www.magneton.ru
2. Дубовой В.А., Чуркин В.И., Федин Д.Н. Исследование и изготовление опытных образцов перестраиваемых фильтров на ферритовых резонаторах с микрополосковыми выводами диапазона частот 400-4000 МГц. Сборник статей IV всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ», т.2, 1-4 июня 2015г, Санкт-Петербург, Россия, с.96-100.
3. Патент на полезную модель № 150427, Сверхвысокочастотный ферритовый фильтр, класс МПК: H01P1/20 (2006.01), авторы: Чуркин В.И., Фирсенков А.И., Дубовой В.А., патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение «Завод Магнетон», подача заявки: 07.07.2014 г., публикация патента: 16.01.2015 г.