

ИССЛЕДОВАНИЕ СПИН-ВОЛНОВОГО СВЧ-ФИЛЬТРА

История:

Физические исследования и технические приложения сверхвысокочастотных (СВЧ) спин-волновых явлений в ферромагнитных пленках и пленочных слоистых структурах на основе ферромагнитных пленок привели в 70-х -80-х гг. XX в. к становлению нового направления СВЧ-микронэлектроники, получившего название спин-волновая электроника [1]. Полосно-пропускающие СВЧ-фильтры (ППФ) на спиновых волнах и являются неотъемлемой частью этого направления. В качестве перестраиваемых ППФ широко применяются фильтры на ферритовых резонаторах железитрированного граната (ЖИГ) и фильтры на магнитостатических волнах (МСВ) [2].

Перестраиваемые фильтры сверхвысоких частот на монокристаллическом железо-иттриевом

гранате.

В настоящее время нашли практическое применение два типа фильтров на основе монокристаллических материалов железо-иттриевого граната (ЖИГ): фильтры на сферах ЖИГ (резонаторах) и фильтры на магнитостатических волнах (МСВ) (волноведущих пленочных структурах ЖИГ). Фильтры отличаются как по конструкции, так и принципу работы. В силу существенного различия фильтры дополняют друг друга по параметрам, габаритам, конструктивному исполнению. Фильтры на сферах имеют амплитудно- частотные характеристики близкие к классическим многозвенным максимально- плоским или Чебышевским, высокое загораживание, перестройка может перекрывать несколько стандартных диапазонов СВЧ.

Фильтры на магнитостатических волнах обладают амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) близкой к максимально плоской, по форме похожей на характеристику фильтров на поверхностных акустических волнах [3]. К достоинствам фильтров на МСВ относится быстрая частотная перестройка, высокая избирательность, большие потери с выхода на вход, малые габариты, низкая стоимость.

Фильтры на сферах ЖИГ.

Фильтры на сферах ЖИГ широко используются в аппаратуре гражданского и военного назначения и за многие годы применения зарекомендовали себя как изделия, имеющие уникальные характеристики, превосходящие по параметрам многие косвенные аналоги.

Работа фильтров основана на возбуждении ферромагнитного резонанса в монокристаллической сфере ЖИГ. За счет узкой ширины линии ФМР в монокристаллических сферах ЖИГ обеспечивается высокая добротность ферритовых резонаторов и малые потери, а за счет многозвенной конструкции из 3-4-х резонаторов – высокая избирательность и высокое загораживание. Фильтры на сферах ЖИГ превосходят многие известные фильтры по таким параметрам как, диапазон перестройки, избирательность, загораживание. Фильтры могут перестраиваться в многооктавном диапазоне частот и при этом изменение параметров незначительно. Фильтры ЖИГ, имеющие три-четыре звена, обеспечивают высокую избирательность и загораживание 70-80 дБ.

Уровень паразитных резонансов превышает 40-50 дБ. Рабочий уровень мощности СВЧ составляет до 10 мВт. Четырехзвенный коаксиальный перестраиваемый фильтр ФФЛК2-25 с приемкой «Б». Особенность разработанного фильтра заключается в широкой полосе пропускания более 50 МГц, рабочем интервале температур от -40 до +70 °С.

Диапазон перестройки от 8 до 12 ГГц. В дальнейшем на базе ФФЛК2-25 ряд фильтров был расширен и разработаны образцы с более узкими полосами пропускания до 25 МГц.

Фильтры на магнитостатических волнах

В последние годы разработчики радиоэлектронной аппаратуры широко внедряют приборы на магнитостатических волнах (МСВ). Принцип работы фильтров на МСВ основан на возбуждении, распространении и приеме магнитостатической волны в волноведущем элементе, изготовленном из пленочной монокристаллической структуры ЖИГ, выращенной на подложке из галлий-гадолиниевого граната. Амплитудно- частотная характеристика формируется за счет селективного возбуждения МСВ преобразователями и характеристик распространения МСВ в слое ЖИГ.

К преимуществам фильтров на МСВ относятся использование интегральной технологии изготовления, высокая надежность, малое время перестройки, малые габариты, большие потери с выхода на вход. Фильтры на МСВ изготавливаются с микрополосковыми, коаксиальными, волноводными выводами с волновым сопротивлением 50 Ом. Фильтры могут быть изготовлены с разными входными и выходными разъемами, например, вход коаксиальный, выход микрополосковый или волноводный. Сочетание типа разъемов на входе и выходе может быть любое, например, коаксиальный - микрополосковый, волноводный – коаксиальный, волноводный – микрополосковый. Например, фильтры ФКИС2-12 имеют коаксиальные вход и выход, рабочие частоты от 8 до 12 ГГц, полосы пропускания от 30 до 180 МГц. Назначение фильтров универсальное – для гражданского и военного применения. Основные достоинства фильтров ФКИС2-12 по сравнению с фильтрами на сферах ЖИГ заключаются в небольших габаритах (26x28x30 мм без разъемов), в развязывающем свойстве вентили (потери в обратном направлении с выхода на вход составляют до 24 дБ). Фильтры обеспечивают незначительный дрейф центральной частоты в интервале температур от -50 до +65°С. Предварительные работы по фильтрам на МСВ показали возможность разработки опытных образцов в диапазоне 2-8ГГц и 12-18 ГГц.

Фильтр настраивается на любую фиксированную частоту в диапазоне от 9 до 10 ГГц. Перестройка может быть осуществлена в низкочастотную область СВЧ диапазона на 1.2 ГГц и высокочастотную на 1.2 ГГц в зависимости от направления тока в катушках перестройки. Кроме электрической перестройки существует возможность механической подстройки центральной частоты фильтра в пределах 200 МГц. При необходимости фильтры могут изготавливаться комплектом из 2-х штук с идентичными центральными частотами и характеристиками управления. Вход и выход коаксиальные, разъем типа IX или SMA.

В таблице даны более подробные данные, а на рисунке типичная амплитудно-частотная характеристика фильтра ФКИС2-12 и быстроперестраиваемого фильтра на МСВ.

Табл.1. Характеристики фильтра ФКИС2-12 и быстроперестраиваемого фильтра на МСВ.

1.Центральная частота (f _{цк}) при нулевом токе в катушках управления, ГГц	9
2.Диапазон перестройки центральной частоты, ГГц	f _{цк} ±1.2
3.Минимальные потери, дБ	Не более 4.5
4.Полоса пропускания по уровню дополнительных потерь 3дБ, МГц	30-60
5.неравномерность потерь в полосе пропускания, дБ	Не более 1
6.уровень паразитных резонансов, дБ	Не более 32
7.Загараживание, дБ	Не менее 55
8.Потери с выхода на вход, дБ	Не менее 24
9.Интервал рабочих температур, °С	-50 ÷ +65
10.Температурный дрейф центральной частоты, МГц / °С	0.2
11.Не совпадение центральных частот в комплекте из 2-х фильтров, МГц	Не более 7
12.Ток управления, А	Не более 0.5

Для ряда радиотехнических применений требуются малогабаритные, не более 28x12x15 мм, электрически перестраиваемые фильтры с микрополоско- выми выводами. Для решения этой задачи разработана конструкция фильтров на МСВ с небольшим (не более 10%) диапазоном перестройки. Фильтры могут быть использованы в аппаратуре военного назначения для систем ФАР и АФАР и коммерческой аппаратуре. Поперечные габариты фильтра не превышают размеров сечения волновода 15x12мм. Фильтры отличается малой материалоемкостью, пригодны для крупносерийного производства. Ниже приведены параметры и типичная АЧХ микрополоскового фильтра.

Табл. 2. Параметры микрополоскового фильтра •

1. Центральная частота (f _{цк}) при нулевом токе в катушках управления	10.9ГГц*
2. Диапазон перестройки центральной частоты	f _{цк} ± 0.3ГГц
3. Минимальные потери	не более 3.0 дБ
4. Полоса пропускания по уровню дополнительных потерь 3 дБ	80 ÷ 120 МГц
5. Неравномерность потерь в полосе пропускания	не более 1 дБ
6. Уровень паразитных резонансов	не более 30 дБ
7. Интервал рабочих температур	- 50 ÷ +65 °С
8. Потери в обратном направлении	не менее 24 дБ

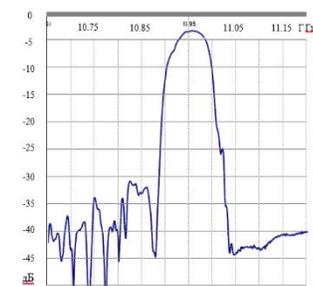


Рис.3. Типичная АЧХ микрополоскового фильтра.

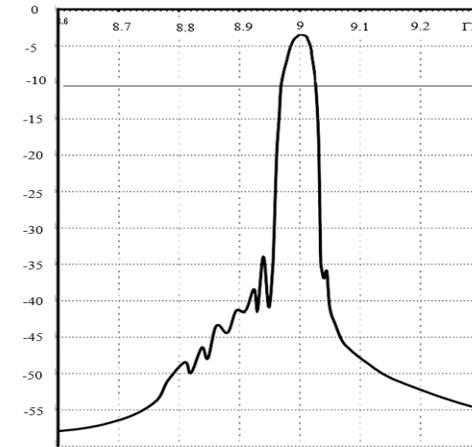
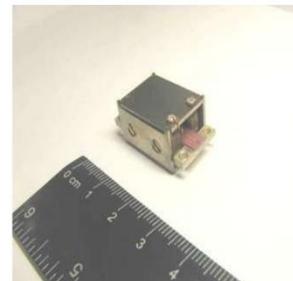


Рис.2.Типичная амплитудно-частотная характеристика фильтра ФКИС2-12 и быстроперестраиваемого фильтра на МСВ f_{цк} =9 ГГц

[1]S.A.Manulov, R.Fors, S.I,Khartsev, and A.M,Grishin, Submicron Y3Fe5O12 Film Magnetostatic Wave Band Pass Filters.

[2]J.D.Adam, An MSW tunable bandpass filter, Westinghouse R&D Center Pittsburgh.

[3] Л.Белов. Частотные фильтры. Электроника. НТБ. №5, 2004г. С.62-67.