

Сверхузкополосные температурностабильные фильтры на ПАВ с поперечно-связанными резонаторами разработки фирмы VECTRON International

ВВЕДЕНИЕ

Фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с поперечно-связанными резонаторами (ПСРФ) разрабатываются фирмой VECTRON International (его отделением **VI Telefilter, Teltow, Германия**) для реализации сверх узких полос пропускания $BW3=0,05-0,2$ % на частоты в интервале от 70 до 1380 МГц . Такие фильтры обладают высокой избирательностью до $UR =45-55$ дБ в полосе заграждения, хорошим коэффициентом прямоугольности АЧХ до $SF =1,5-1,8$ и малыми вносимыми потерями $IL =2,5-6,5$ дБ.

1. Конструкции фильтров с поперечной акустической связью резонаторов

Из известных на сегодняшний день пьезоэлектрических материалов для устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) пьезокварц обладает наилучшей температурной стабильностью. Так , для повернутых срезов семейства $ux//42^\circ$ - $ux//30^\circ$ температурный коэффициент частоты кварца изменяется от $TKЧ= 0 \times 10^{-6}/^\circ C$ для ST- среза $ux//42^\circ 45'$ (при нулевой толщине металлической пленки) до $TKЧ=-(0,036-0,04) \times 10^{-6}/^\circ C^2$ для среза $ux//30^\circ$, что на несколько порядков меньше , чем для температурно-стабильных срезов другого материала -танталата лития с $TKЧ=-(18-30) \times 10^{-6}/^\circ C$. Поскольку кварц является слабым пьезоэлектриком, то его коэффициент электромеханической связи $KЭМС=0,01-0,016\%$ значительно уступает коэффициенту электромеханической связи $KЭМС=5-6$ % для танталата лития , что ограничивает ширину реализуемой полосы пропускания кварцевых фильтров на ПАВ при приемлемых потерях. Поэтому кварцевые фильтры на ПАВ принципиально более узкополосны ,чем фильтры на танталате лития , и теоретически позволяют реализовать полосы пропускания только $BW3= 0,01-0,3\%$. Кроме того, из-за узости реализуемой полосы пропускания кварцевых фильтров резко возрастают требования к точности настройки парциальных частот резонаторов , входящих в их состав (до $0,005-0,02\%$).

Указанные ограничения заставляют разработчиков VECTRON искать более приемлемые для проектирования и изготовления базовые структуры кварцевых фильтров на ПАВ. Наиболее оптимальными структурами для создания узкополосных и стабильных в широком диапазоне температур фильтров ПАВ являются цепочечные схемы на основе резонаторов с поперечной акустической связью (**Transversal Coupled Resonator Filters - TCRF**).

Основой такого фильтра ПСРФ служит одновходовый резонатор, содержащий пьезоэлектрическую (чаще всего, кварцевую) подложку, входной встречно-штыревой преобразователь (ВШП) и две отражательные решетки по бокам ВШП (рис.1).

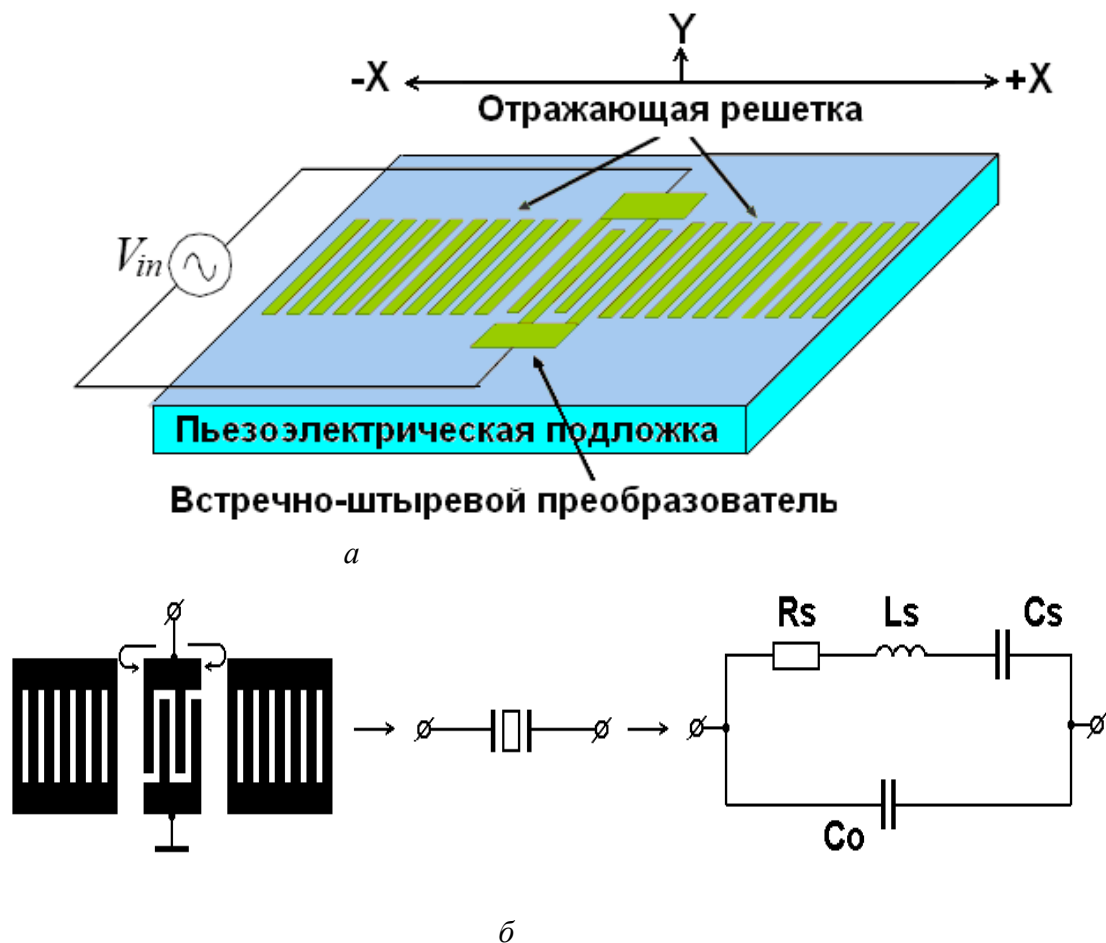
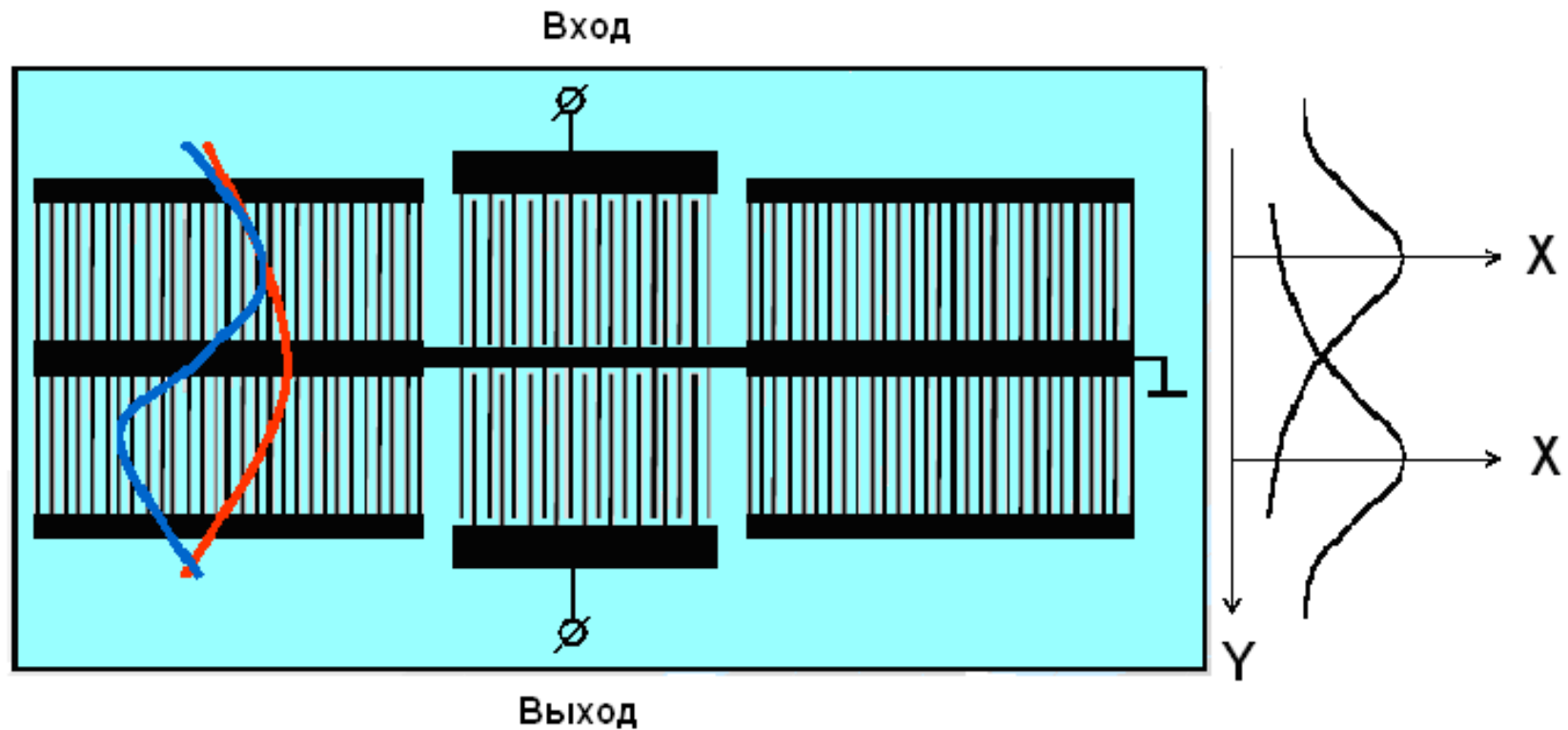


Рис. 1. Одновходовый резонатор на ПАВ : а- конструкция ; б-эквивалентные схемы

При подаче электрического сигнала входной ВШП генерирует две ПАВ, распространяющиеся в прямом $+X$ и обратном $-X$ направлениях. Обе ПАВ попадают на соответствующие решетки, отражаются и формируют стоячую волну в акустическом волноводе, образованном входным ВШП и решетками. Из-за дифракционной расходимости часть акустической энергии вытекает за пределы волновода. Если близко на подложке расположить второй аналогичный волновод, между ними возникает поперечная акустическая связь, позволяющая сформировать частотную характеристику такого элементарного звена уже как полосового фильтра, аналогично фильтру из двух связанных электрических контуров (рис.2). Регулируя акустическую связь изменением расстояния между резонаторами, можно формировать частотную характеристику элементарного двухрезонаторного звена фильтра в полосе пропускания. Также как и для электрических контуров, при слабой связи АЧХ двухрезонаторного акустического звена имеет плавную форму, близкую к гауссовской. При критической связи удастся получить плоскую вершину АЧХ с более широкой полосой; при сильной связи появляются два экстремума, что позволяет максимально расширить полосу пропускания звена.



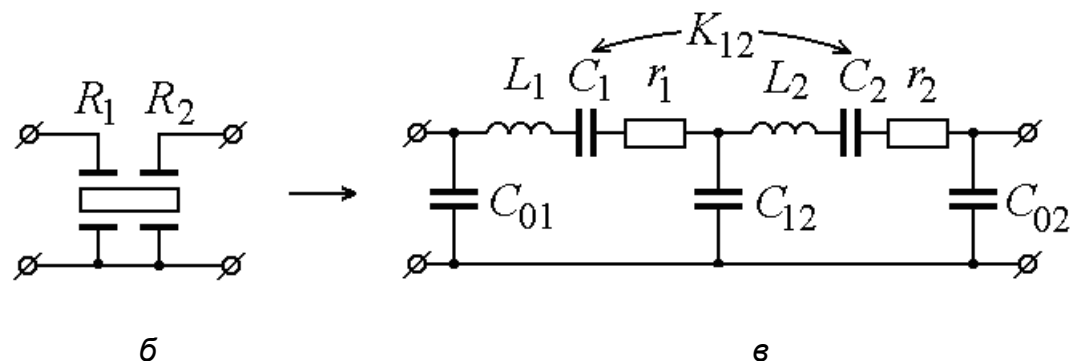


Рис.2. Два резонатора на ПАВ с поперечной акустической связью (а) и их эквивалентные схемы (б, в). Синий цвет- антисимметричная поперечная мода , красный цвет – симметричная поперечная мода

Расширить полосу пропускания фильтра можно , используя три резонатора с поперечной акустической связью в акустическом звене (рис.3) и разнося частоты возникающих экстремумов АЧХ.

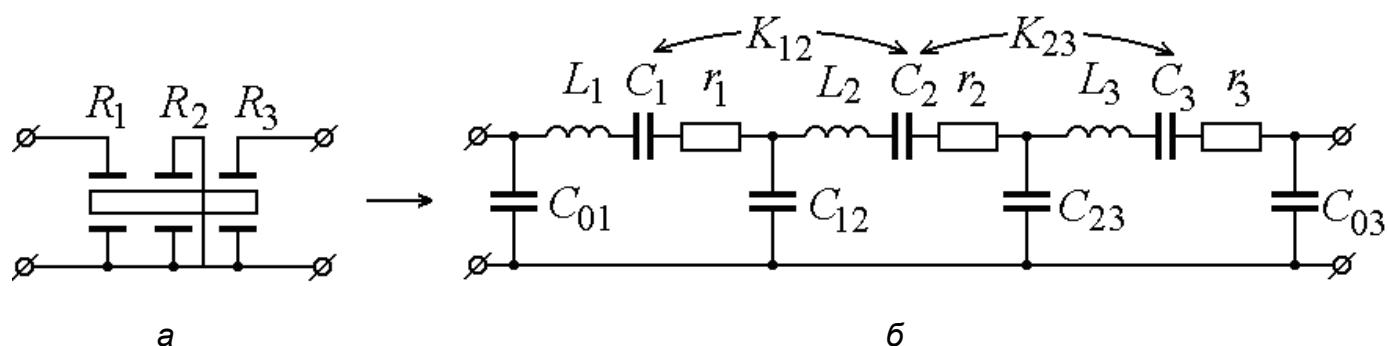


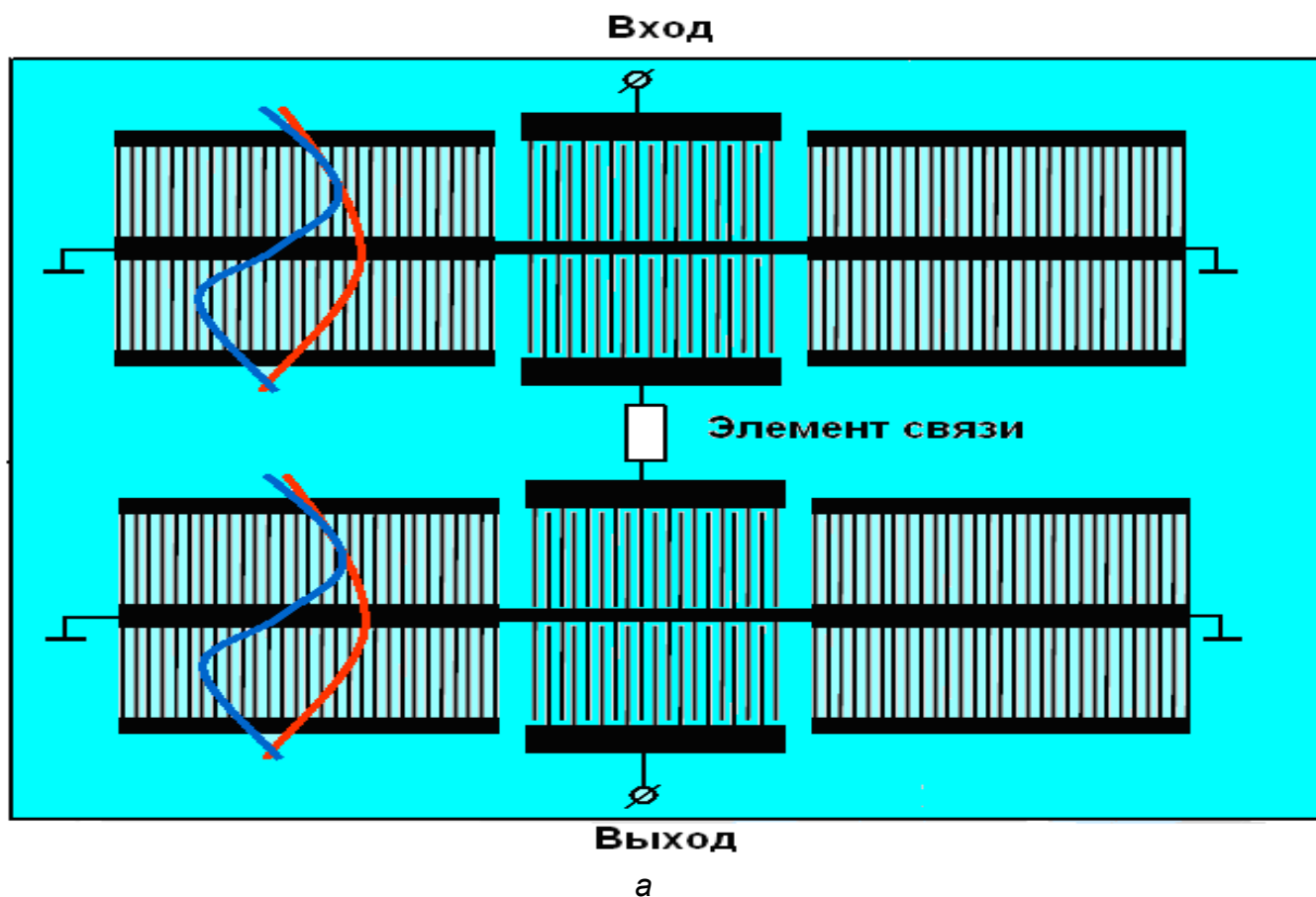
Рис.3. Три акустически связанных резонатора (а) и их эквивалентная схема (б)

Дальнейшее увеличение числа резонаторов с поперечной акустической связью к расширению полосы пропускания звена - фильтра практически не приводит, т.к. при числе резонаторов четыре и более дополнительные экстремумы в АЧХ сливаются.

Помимо основных мод (симметричной и несимметричной – рис. 2), распространяющейся вдоль направления оси X , вследствие отражений волны от краев акустического волновода возникают дополнительные поперечные моды с распределением энергии вдоль оси Y , которые приводят к появлению паразитных откликов в АЧХ звена на частотах , выше центральной, определяемой периодами ВШП и решеток , т.е. в высокочастотной полосе заграждения фильтра.

С ростом числа акустически связанных резонаторов увеличивается и количество отражающих границ волноводов, в первую очередь, образованных контактными площадками фильтра. Поэтому количество и уровень паразитных откликов в полосе заграждения, вызванных поперечными модами, также увеличивается, что является дополнительным ограничением использования многорезонаторных структур. Поэтому двухрезонаторное звено является элементом, наиболее часто используемым для построения более сложных структур полосовых фильтров.

С целью подавления паразитных откликов и улучшения избирательности применяется комбинированная связь: поперечная акустическая связь в звене из пары резонаторов и электрическая связь между двумя или тремя звеньями (рис. 4). В качестве элемента связи между звеньями могут быть использованы внешние емкости или индуктивности. В разработках VECTRON чаще используется индуктивный элемент связи, что не всегда удобно (например, фильтр TFS 75E).



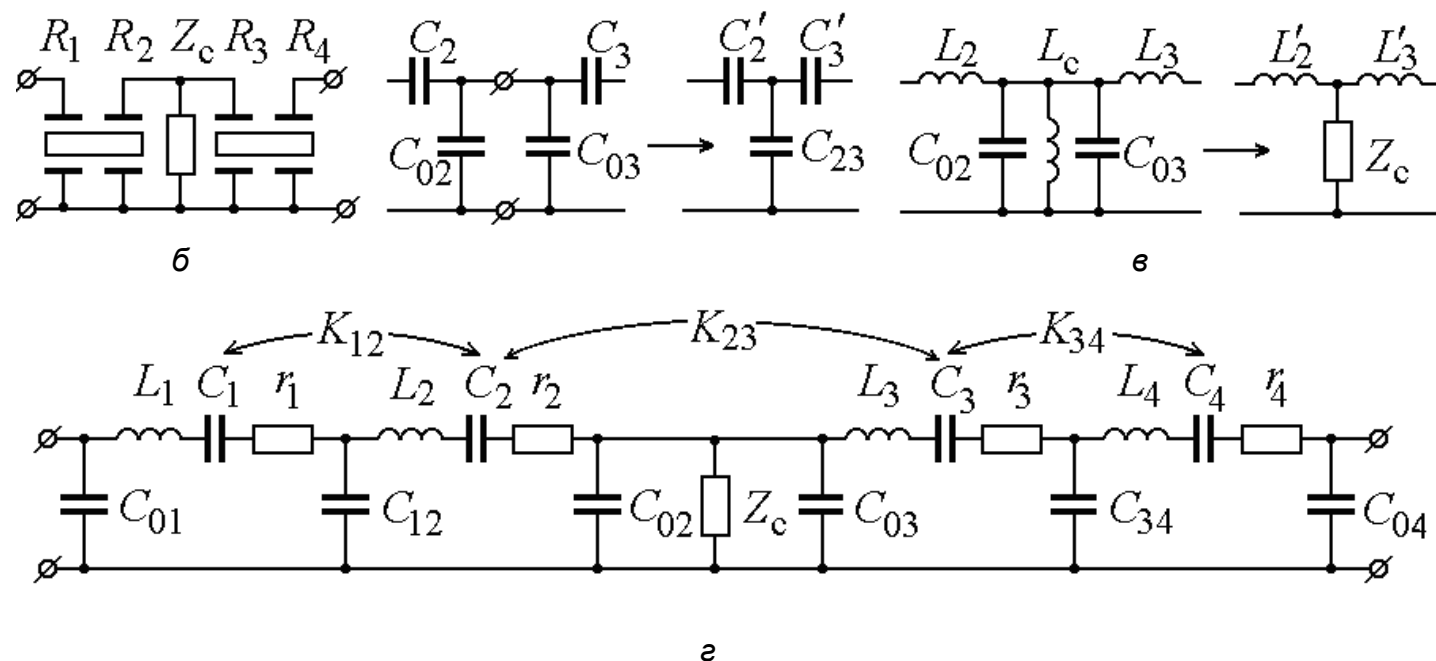
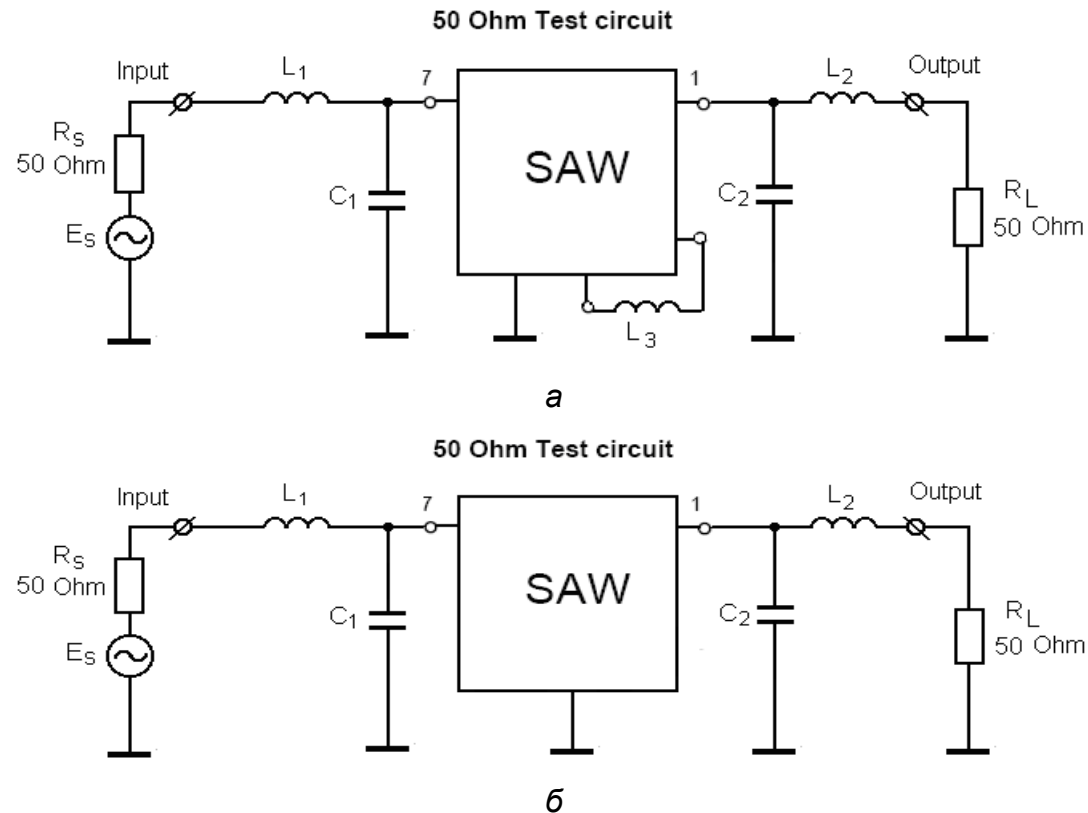


Рис.4. Фильтр из четырех резонаторов с комбинированной акустоэлектрической связью : (а) – конструкция двухзвенного фильтра ; (б, в) - трансформация элементов связи; (г) - эквивалентная схема связанных резонаторов

2. Схемы согласования фильтров на резонаторах с поперечной акустической связью с нагрузками

Входное и выходное сопротивления ПСРФ на кварце составляют обычно $|Z_{ax}| = 0,2-2,0$ кОм в зависимости от средней частоты и относительной полосы пропускания. Поэтому для согласования фильтра со стандартной нагрузкой 50 Ом приходится использовать цепи трансформации импеданса 50 Ом в высокоомное входное сопротивление фильтра или , наоборот, цепи трансформации высокоомного выходного сопротивления фильтра в низкоомную нагрузку. Типичные аксиальные схемы согласования сверхзаклопосных фильтров поперечно связанных резонаторах на кварце разработки фирмы VECTRON приведены на рис. 5.



*Рис.5. Аксиальные схемы согласования сверхзаклополосных ПСРФ :
а- с индуктивным элементом электрической связи между звеньями фильтра ;
б- с оптимизацией крайних резонаторов звеньев*

Избирательность двухзвенного ПСРФ на кварце с комбинированной акустоэлектрической связью составляет обычно 45-50 дБ и ограничена , в первую очередь, электромагнитной наводкой со входа на выход как внутри корпуса фильтра , так и по печатной плате , на которой этот фильтр расположен. Для улучшения избирательности до 60-65 дБ рекомендуется использовать балансное включение ПСРФ (рис. 6) , позволяющее частично компенсировать электромагнитную наводку (например , фильтр модели TFS 433A).

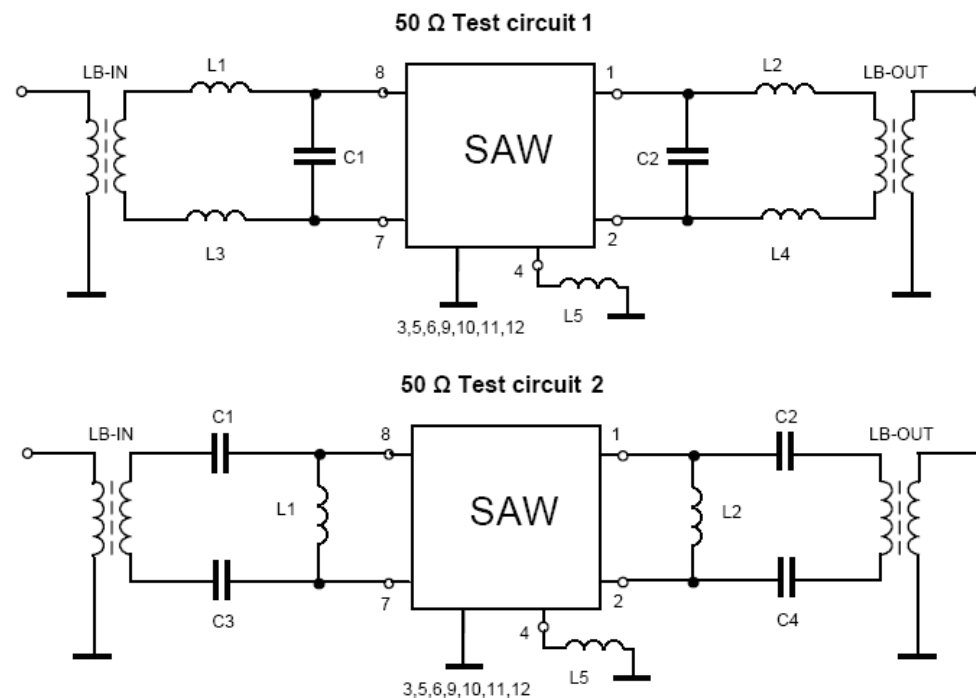


Рис.6. Балансные схемы согласования сверхзкополосных ПСРФ

3.Области применения фильтров с поперечной связью резонаторов разработки VECTRON International

Фильтры на ПАВ основе резонаторов с поперечной акустической связью (ПСРФ) обычно используются в интервале частот от 70 до 1000 МГц. Из-за малости коэффициента электромеханической связи кварца, для построения высокодобротных резонаторов требуется использовать не менее 200-400 электродов в каждой из отражательных решеток, что приводит к росту их протяженности в 5-10 раз по сравнению с решетками резонаторов на танталате лития. Поэтому нижняя рабочая частота ПСРФ определяется габаритами резонаторов и толщиной металлической пленки, необходимой для создания эффективных отражателей ПАВ. Верхняя рабочая частота ограничена потерями на распространение ПАВ в кварце, резко возрастающими на частотах 1000-1200 МГц и выше. Благодаря использованию высокодобротного электро- очищенного кварца и прецизионной фотолитографии, VECTRON International удалось создать ПСРФ с приемлемыми потерями на частоты до 1387 МГц (фильтр модели TFS 1387A, рис.7).

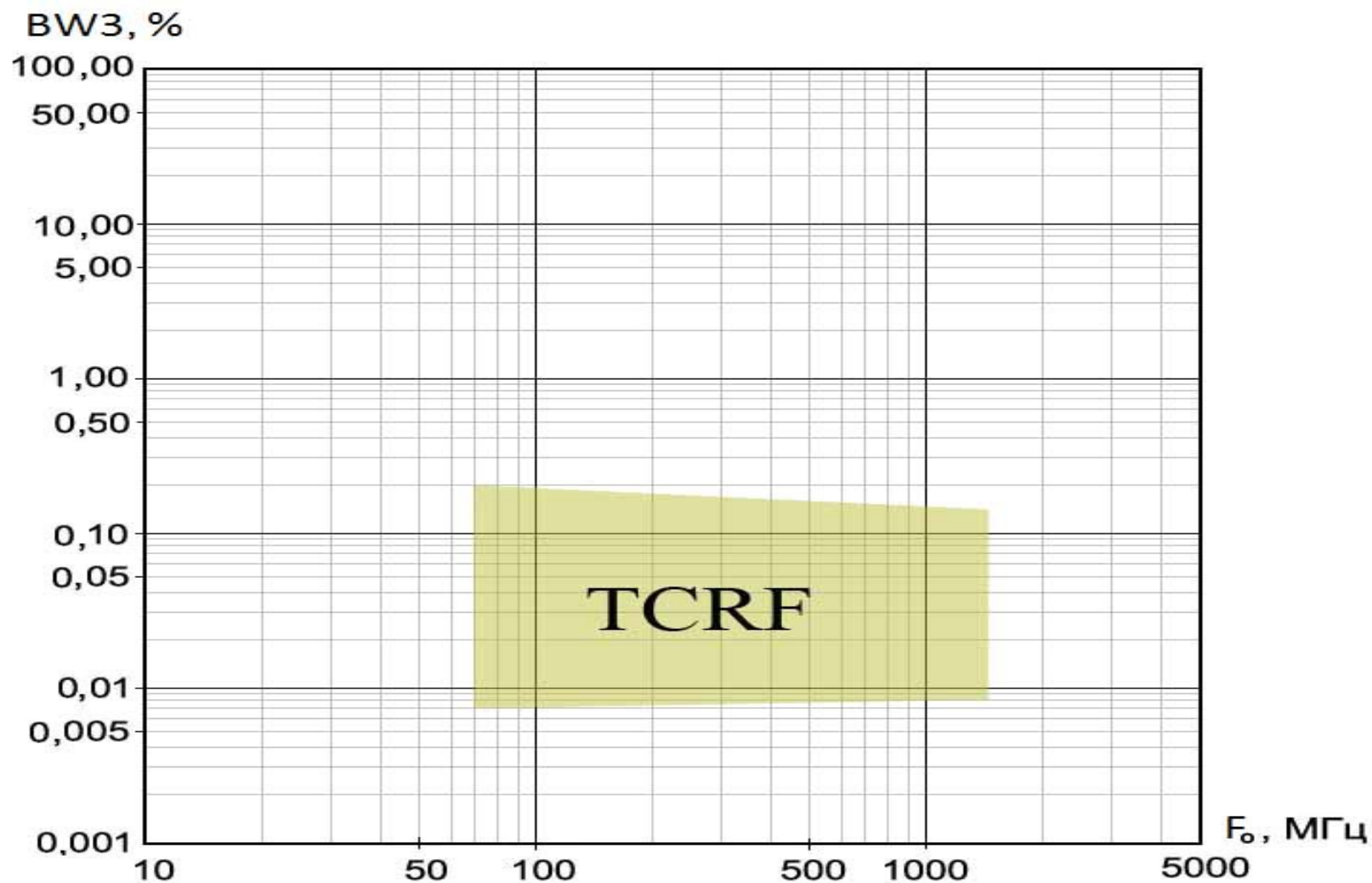


Рис.7. Частоты и относительные полосы пропускания ПСРФ, реализованные в изделиях фирмы VECTRON

Типичные вносимые потери ПСРФ разработки VECTRON составляют $IL = 2,2-6,8$ дБ и определяются, в первую очередь, количеством звеньев в фильтре, качеством оптимизации импедансов крайних резонаторов фильтра с импедансами нагрузок (примыкающих звеньев или согласующих цепей), а также неизбежными потерями в согласующих цепях. Поэтому в согласующих цепях желательно использовать высокодобротные катушки индуктивности с $Q=60-100$.

Минимальная полоса пропускания ПСРФ определяется величиной температурного ухода средней частоты в рабочем интервале температур и точностью воспроизведения центральных частот резонаторов в используемом технологическом процессе. Для изделий VECTRON минимальная полоса пропускания составляет около $BW3_{min}=0,07\%$ или, например, около 70 кГц на частоте 92 МГц (фильтр модели TFS 92B).

Максимальная полоса пропускания ПСРФ ограничена величиной акустической связи между резонаторами при заданной неравномерности АЧХ в полосе пропускания и не превышает $BW3_{max}=0,187\%$ для двухрезонаторных акустически связанных звеньев и $BW3_{max}=0,287\%$ для трехрезонаторных акустически связанных звеньев при приемлемой неравномерности АЧХ (рис.7).

Как уже указывалось, ПСРФ обладают высокой избирательностью до $UR=50-60$ дБ в полосе заграждения, хорошим коэффициентом прямоугольности АЧХ $SF=1,5-1,8$ и малыми вносимыми потерями $IL=2,5-6,5$ дБ.

В ПСРФ разработки VECTRON преимущественно используются металлокерамические корпуса, удобные для монтажа на поверхность. В зависимости от рабочей частоты и количества звеньев в фильтре, габариты корпусов изменяются от SMD 14,0x8,5 мм на частотах 70-100 МГц и SMD 13,3x6,5 мм для 100-200 МГц до SMD 5,0x5,0 мм для частот 300-600 МГц и SMD 3,8x3,8 мм для 800-1300 МГц (рис. 8).

Габариты, мм

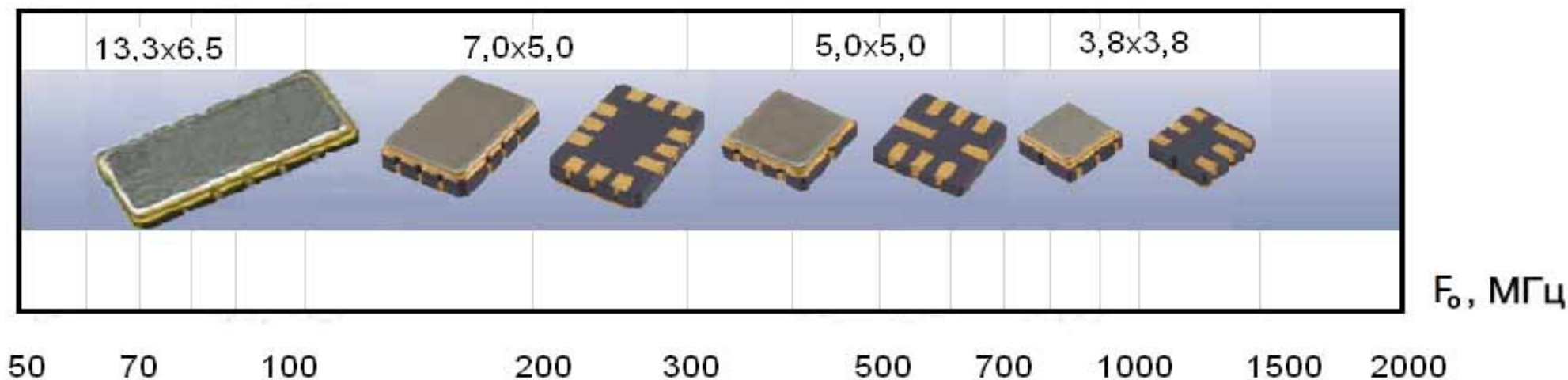


Рис.8.Корпуса ПСРФ используемые в изделиях фирмы VECTRON

Перечисленные свойства сверхзкополосных и температурностабильных ПСРФ обеспечивают широкий круг их разнообразных применений:

- в измерительной технике для построения синтезаторов частот и анализаторов спектра , очистки спектра генераторов ;
- в трактах промежуточной частоты аналоговых и цифровых систем мобильной и сотовой связи : радиотелефонах различных стандартов , радиоудлинителях , пейджерах и т.д. (Таблица 1);
- в трактах промежуточной частоты приемников систем наземной морской и спутниковой беспроводной связи ;
- в приемниках систем дистанционного управления объектами : электронных замков , охранных систем , автомобильной сигнализации;
- в медицинской аппаратуре;
- в системах распознавания целей и наведения на цель и т.д .

При этом в автомобильной сигнализации используются как фильтры со стандартной полосой пропускания 0,07-0,1 % , так и расширенной до 0,2-0,25 % полосой. Последнее необходимо для увеличения функций устройства , например , формирования не только звукового и светового сигналов , но и сигнала для дистанционного запуска двигателя и т.д.

4. Реализация сверхзкополосных и температурностабильных ПСРФ в фирмы VECTRON

Ниже приведены таблицы с основными параметрами фильтров на основе резонаторов с поперечной акустической связью – **ПСРФ** или Transversal Coupled Resonator Filters - **TCRF** разработки **VI Telefilter**, г. Телтов , Германия ,предназначенные для применений в различных областях , а также некоторые типичные частотные характеристики фильтров для этих областей. При необходимости , достаточно “щелкнуть” ссылку на интересующий конкретный фильтр в той или иной таблице, чтобы увидеть через Internet Explorer характеристики других ПСРФ , размещенных на сайте www.vectron.com

Таблица 1

Стандарты мобильной , сотовой и беспроводной связи , распространенные в различных странах мира

Standard	Rx MHz	TX MHz	#Users	RF BW MHz	IF BW MHz
Analog Cellular (FDMA)					
AMPS	869-894	824-849	832	25	30
ETACS	916-949	871-904	1240	33	25
NTACS	860-870	915-925	400	10	12.5
NMRT450	463-468	453-458	200	5	25
NMT900	935-960	890-915	1999	25	12.5
Digital Cellular (TDMA)					
IS-54/-136	869-894	824-849	832X3	25	30
IS-95 (CDMA)	869-894	824-849	20X798	25	1250
GSM	935-960	890-915	124x8	25	200
PDC	810-826	940-956	1600x3	16	25
	1429- 1453	1477- 1501	1600x3	24	25
Digital Cordless/ PCN (TDMA/TDD)					
CT2 & 944/948	864/868 & 40		4	100	CT2+
DECT	1880- 1990		10X12	110	1728
PHS	1907	1895	300X4	12	300
DCS1800 (FDD)	1805- 1880	1710 1785	750X16	75	200

Фильтры для военных и космических применений

Применение	Модель	Частота, МГц	Полоса, МГц	Неравномерность АЧХ, дБ	Вносимые потери, дБ	Неравномерность ГВЗ, нсек	Корпус, мм
Space	TFS70BA	70	0.07	1.0	6.0		13.3x6.5 LCC
Military	TFS75E	75	0.015	1.0	12.0	3000	14.1x8.5 LCC
Military	TFS121B	121.05	0.05	0 1.0	3.0		7.0x5.0 LCC
Military	TFS162A	162.2			5.0		9.3x7.3 LCC
Military	TFS240M	240	0.24		5.5	2000	5.0x5.0 LCC
Military	TFS243E	243	0.05	1.0	3.0		7.0x5.0 LCC

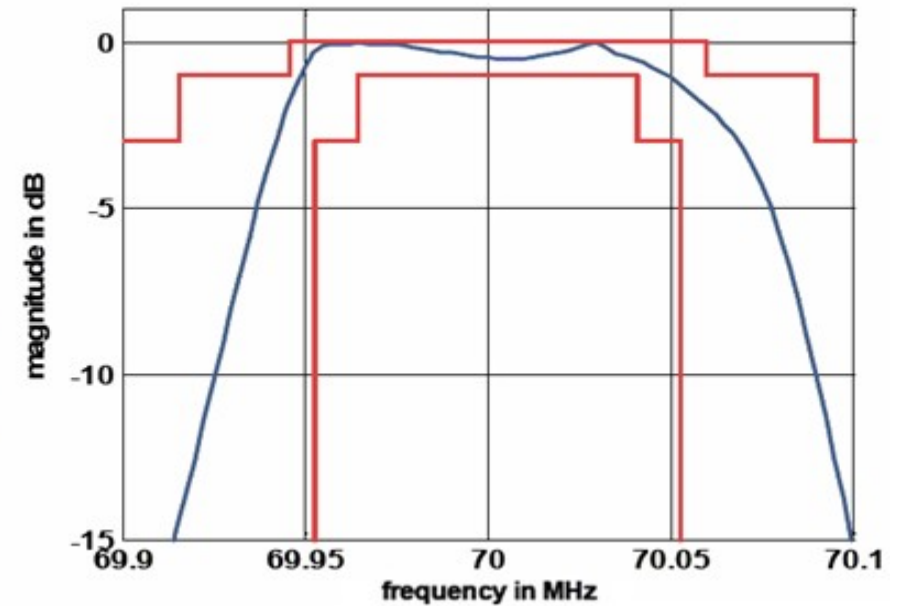
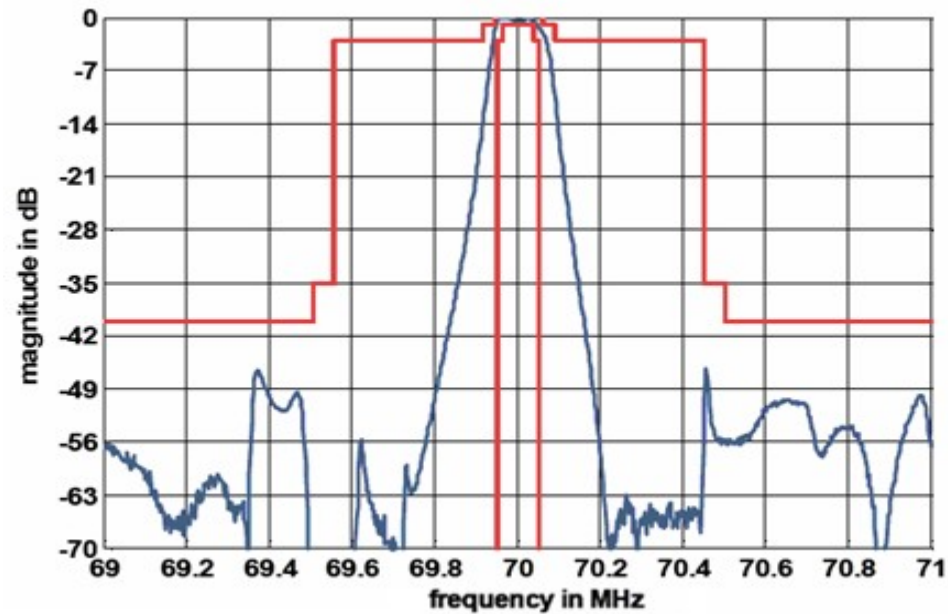


Рис. 9. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 70BA**

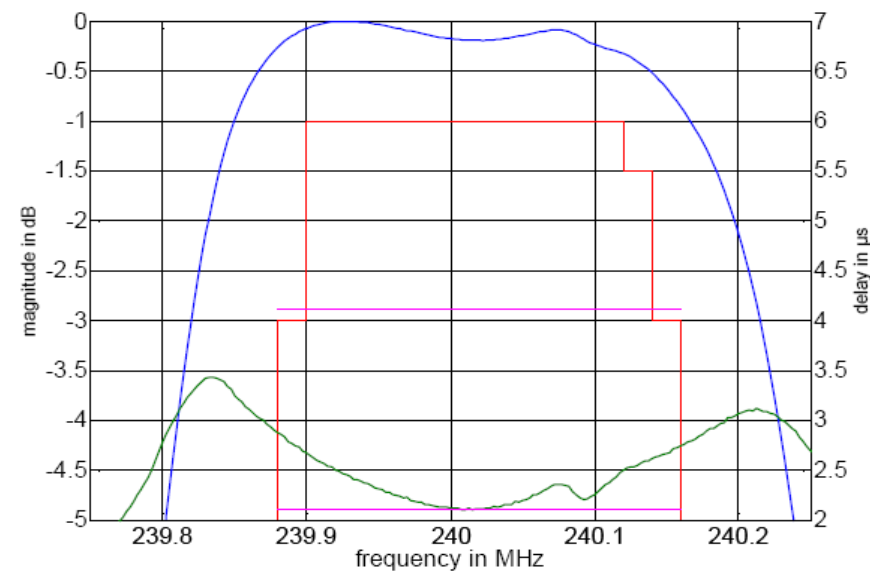
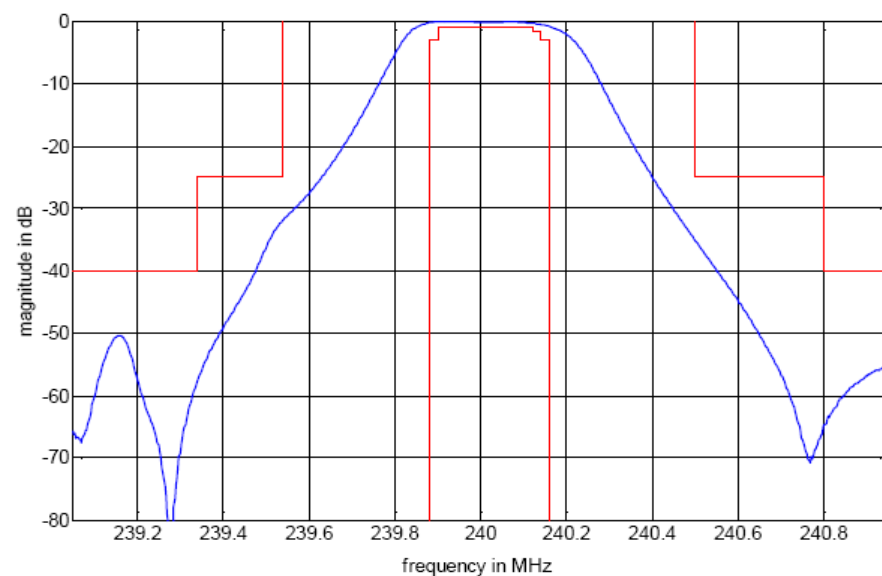


Рис. 10. Частотные характеристики фильтра модели **TFS240M**

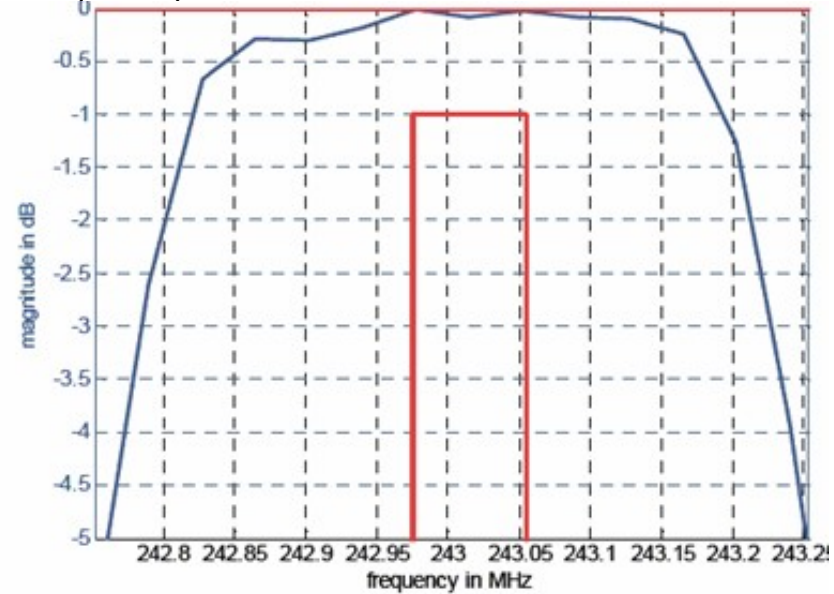
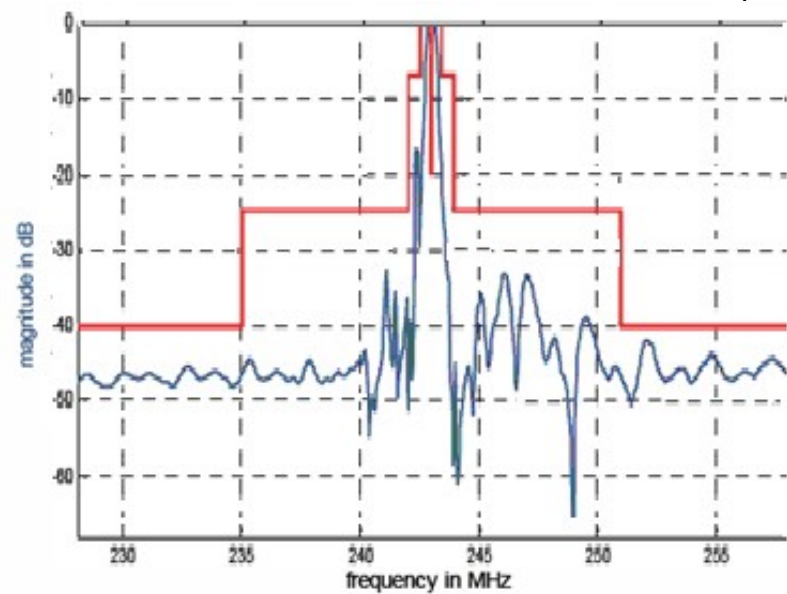


Рис. 11. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 243E**

Таблица 3

Фильтры для измерительного оборудования

Применение	Модель	Частота, МГц	Полоса, МГц	Неравно- мерность АЧХ, дБ	Вносимые потери, дБ	Неравно- мерность ГВЗ, нсек	Корпус , мм
Medical	TFS80G	80	0.010	1.5	4.0		13.6x6.8 LCC
Measurement	TFS280A	280.46	0.07		5.0	2000	7.0x5.0 LCC
Test Equipment	TFS433AA	433.92	0.60		3.5		3.8x3.8 LCC
VCSO	TFS622	622.11	0.14		6.0	600	7.0x5.0 LCC
Test Equipment	TFS1200	1200	0.20	1.0	6.0	100	3.8x3.8 LCC

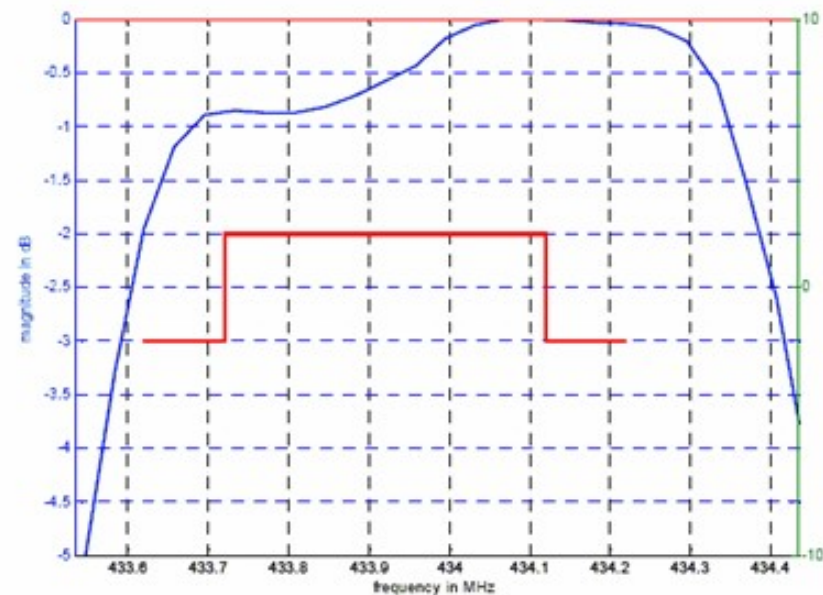
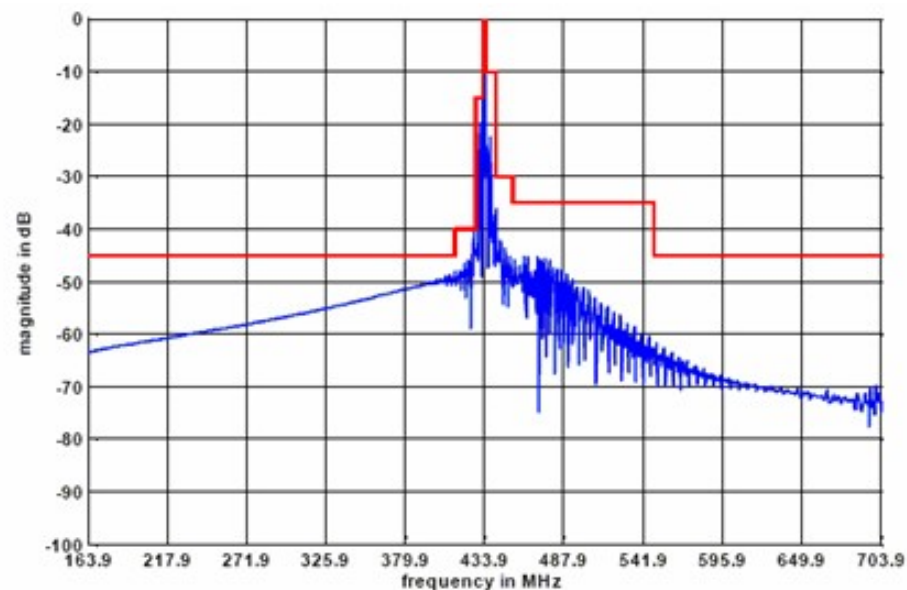


Рис. 12. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 433AA** с балансной схемой согласования для измерительных систем

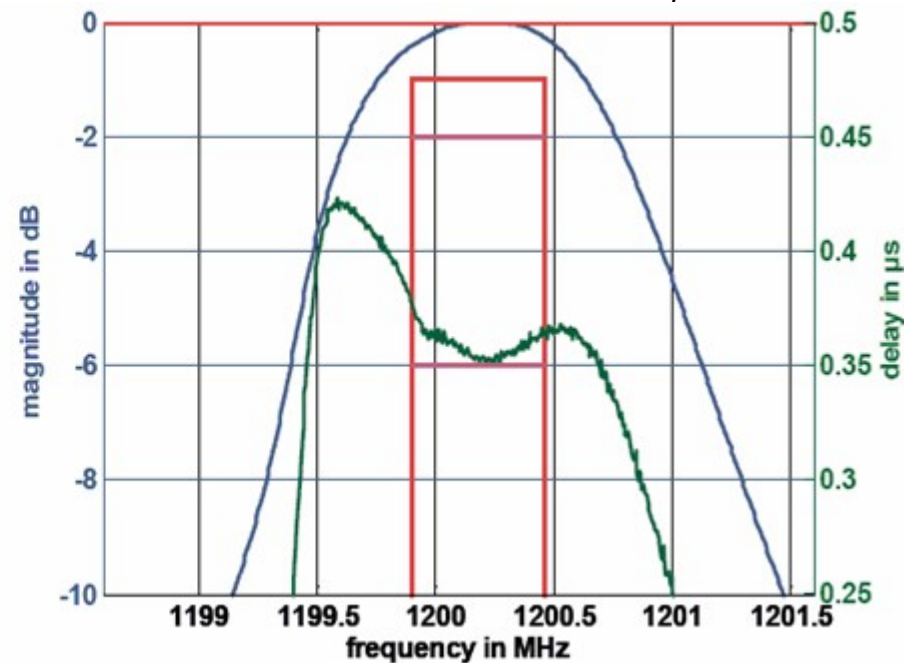
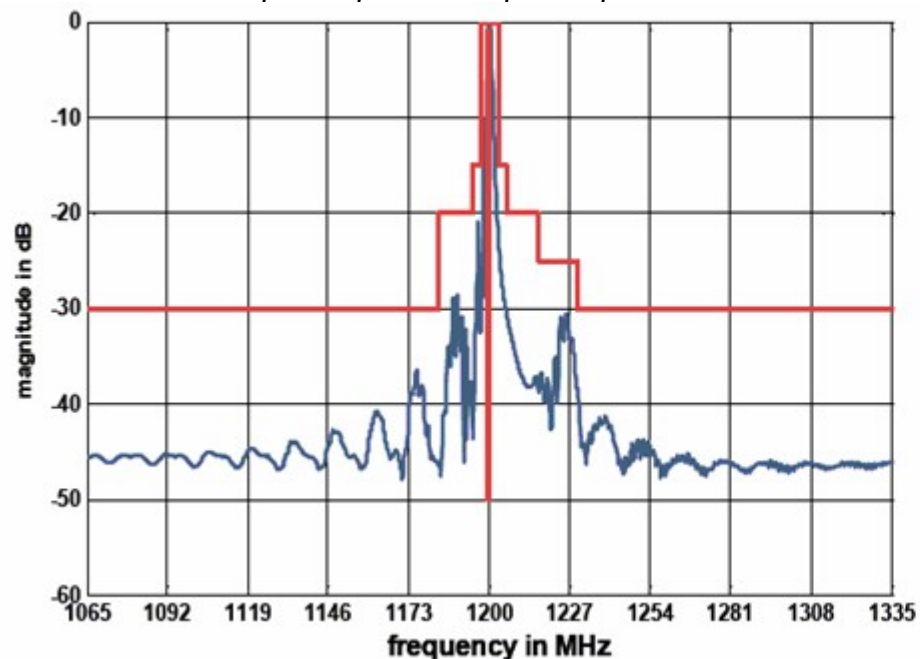


Рис.13. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 1200** для измерительных систем

Таблица 4

Фильтры для систем дистанционного управления объектами (диапазон ISM)

Применение	Модель	Частота, МГц	Полоса, МГц	Неравно- мерность АЧХ, дБ	Вносимые потери,дБ	Неравно- мерность ГВЗ, нсек	Корпус , мм
ISM	TFS315	315	0.03		7.0	700	5.0x5.0 LCC
ISM	TFS429	429.2	0.125	1.0	3.0		3.8x3.8 LCC
ISM	TFS433F	433.32	0.05		6.0		7.0x5.0 LCC
ISM	TFS433K	433.42	0.15		5.0		7.0x5.0 LCC
ISM	TFS433L	433.92	0.44		3.5		5.0x5.0 LCC
ISM	TFS433P	433.92	0.44		3.5		3.8x3.8 LCC
ISM	TFS433V	433.92	0.36		3.0		3.8x3.8 LCC

ISM	TFS433X	433.92	0.36		3.0		3.8x3.8 LCC
ISM Wide	TFS433Z	433.92	0.76		3.0		5.0x5.0 LCC
ISM Wide	TFS434B	434.46	0.64	3.0	4.0		5.0x5.0 LCC
ISM	TFS868C	868.3	0.50		5.5		3.8x3.8 LCC
ISM	TFS868D	868.3	0.60		5.5		5.0x5.0 LCC
ISM	TFS868H	868.3	0.60	3.0	3.8		3.8x3.8 LCC
ISM	TFS868N	868.3	0.60	3.0	3.8		3.8x3.8 LCC
ISM	TFS868B	868.35	0.40		5.5		5.0x5.0 LCC
ISM	TFS868	868.39	0.60		4.7		5.0x5.0 LCC
ISM	TFS868A1	868.92	0.50		5.5		3.8x3.8 LCC
ISM	TFS869H	869.21	0.02		7.0		5.0x5.0 LCC
ISM	TFS915L	915.0	0.70	3.5	5.5		3.8x3.8 LCC

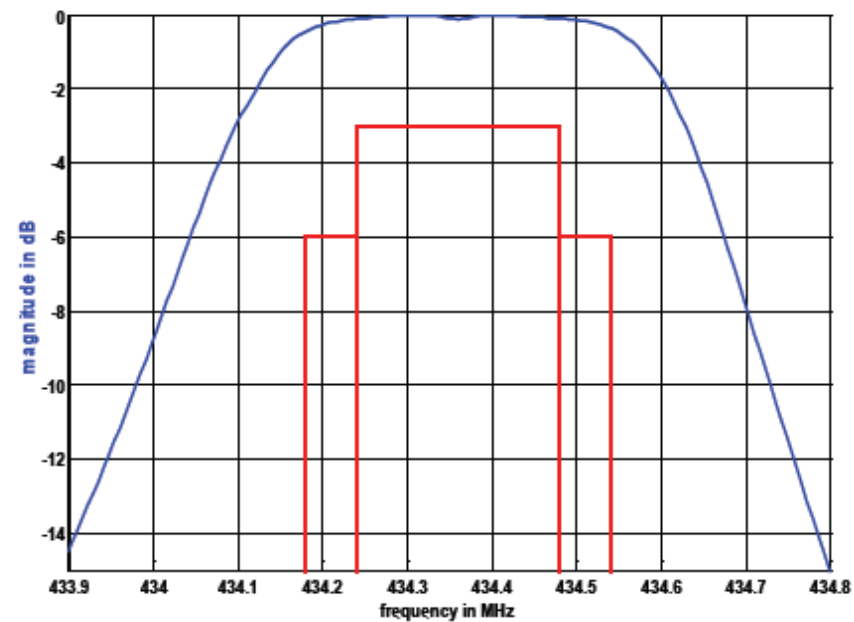
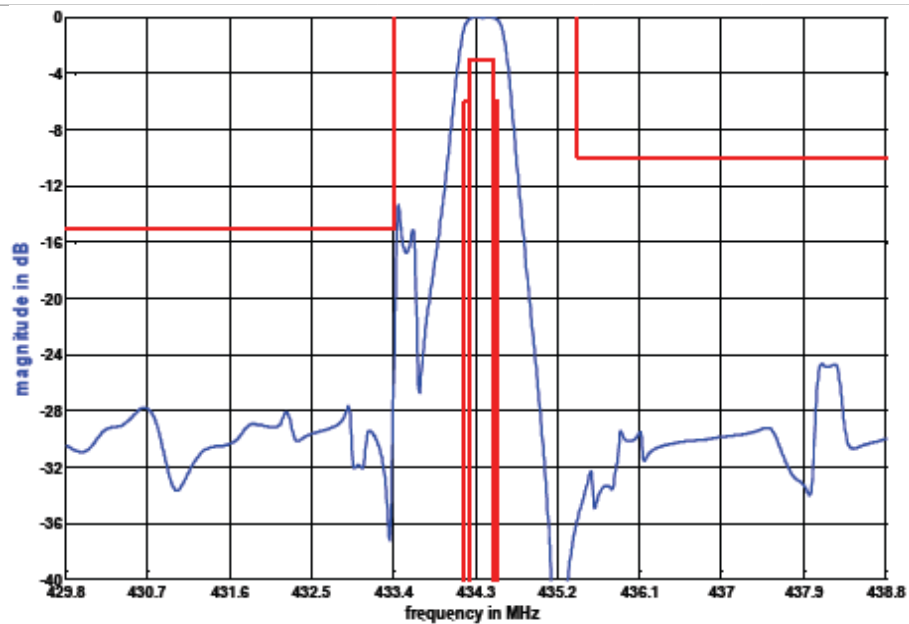


Рис.14. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 434** при аксиальной схеме согласования

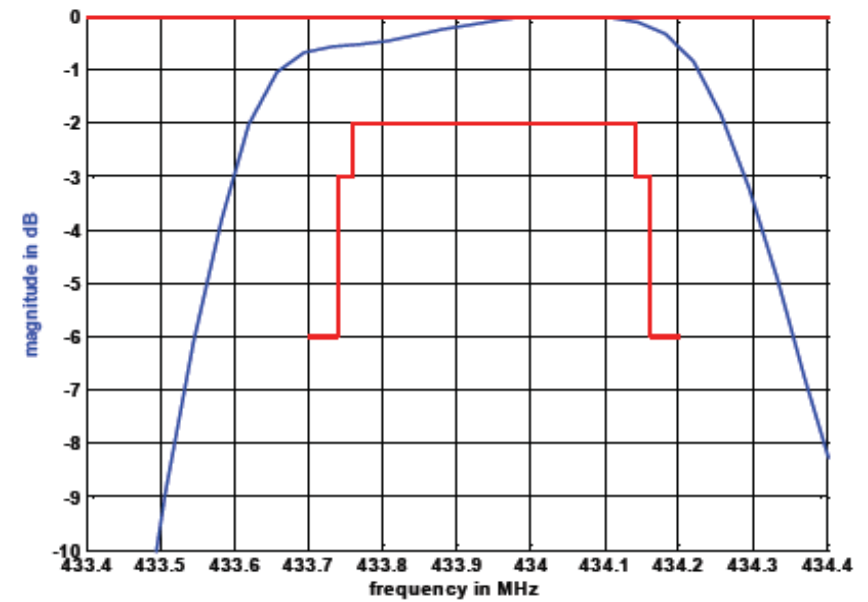
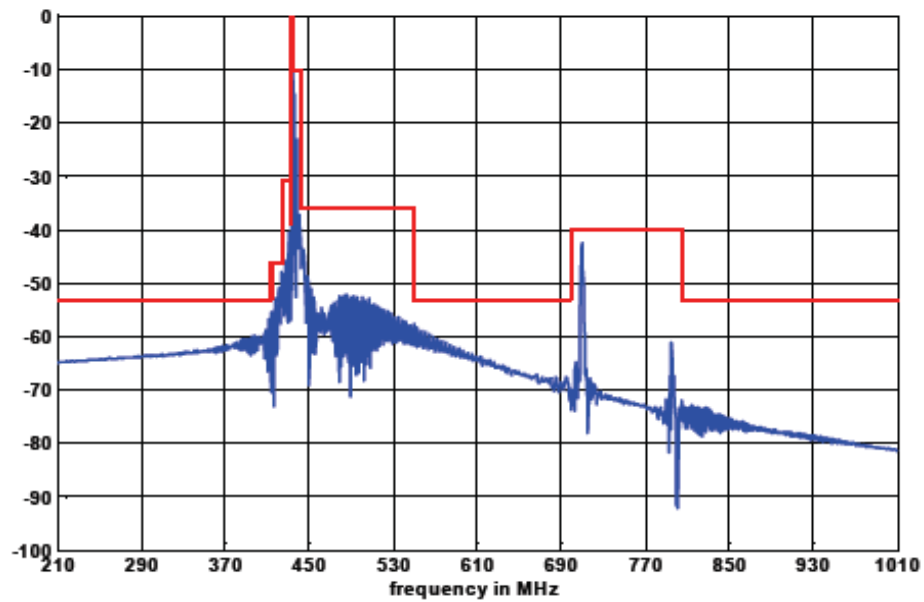


Рис.15. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 433Z** с расширенной полосой и балансной схемой согласования

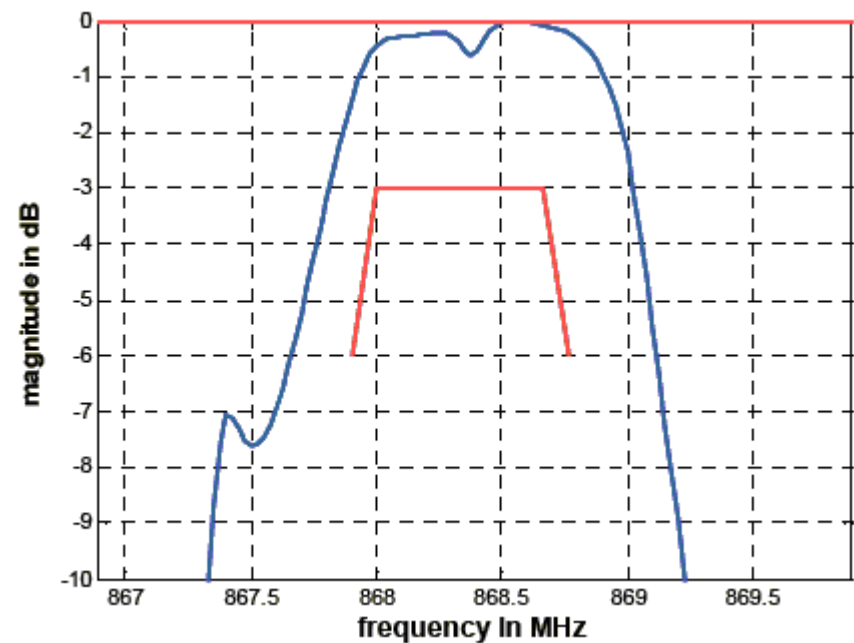
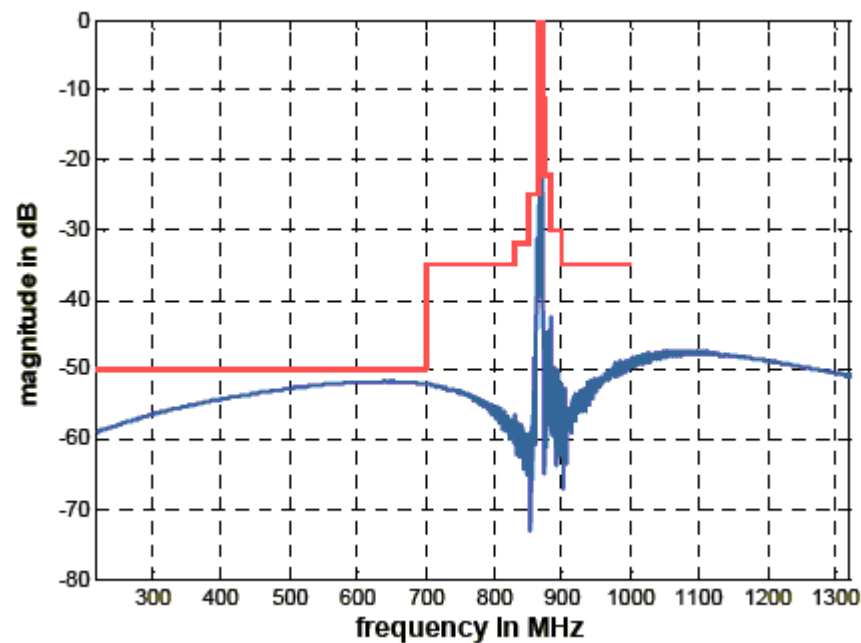


Рис.16. Частотные характеристики СВЧ фильтра модели **TFS 868** для автомобильной сигнализации

Таблица 5

Фильтры для систем пейджерной связи

Применение	Модель	Частота, МГц	Полоса, МГц	Неравномерность АЧХ, дБ	Вносимые потери, дБ	Неравномерность ГВЗ, нсек	Корпус , мм
PagerRF	TFS456B	456.15	0.28		5.0		9.0x5.0 LCC
PagerRF	TFS456C	456.49	0.28		5.0		9.0x5.0 LCC
PagerRF	TFS469	469.99	0.28		5.0		9.0x5.0 LCC

Таблица 6

Фильтры для систем мобильной и сотовой связи , навигационных систем

Применение	Модель	Частота, МГц	Полоса, МГц	Неравно- мерность АЧХ, дБ	Вносимые потери, дБ	Неравно- мерность ГВЗ, нсек	Корпус , мм
AMPS	TFS86C	86.46	0.03	2.0	5.0	10000	11.0x5.0 LCC
AMPS	TFS86	86.85	0.03	1.5	4.0	10000	13.0x6.0 LCC
AMPS	TFS86A	86.85	0.03	1.5	4.0	10000	11.0x5.0 LCC
AMPS	TFS86A-1	86.85	0.03	1.5	4.0	10000	11.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS211	211	0.20		6.5	500	9.0x7.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS225	225	0.16		5.0	1500	7.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS246H	246	0.24	1.5	5.0	1200	7.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS246H2	246	0.24	1.5	5.0	1200	7.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS246H4	246	0.18	1.5	5.0	1200	7.0x5.0 LCC
Wireless LAN	TFS248H	248.6	0.20	1.0	6.0	500	13.3x6.5 LCC
GSM	TFS270A-1	270	0.18		5.0	2000	7.0x5.0 LCC
GSM	TFS270B	270	0.18		5.0	2000	5.0x5.0 LCC
GSM	TFS270C	270	0.18		5.0	2000	5.0x5.0 LCC
GSM	TFS276	276	0.24	1.5	5.0	1200	7.0x5.0 LCC
GSM BaseStation	TFS309	309.6	0.27		4.1		5.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS311A	311	0.15	1.5	5.0	1200	7.0x5.0 LCC
Digital Radio	TFS315H	315	0.30	1.0	2.5		3.8x3.8 LCC
LMDS	TFS322	322.5	0.28		6.5	2000	5.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS336	336	0.18		8.0	1200	9.0x7.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS360A	360	0.14	1.5	5.0	2000	5.0x5.0 LCC

WiMAX	TFS380P	380	0.33		6.5	2000	5.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS400C1	400	0.14		6.5	2000	5.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS400H	400	0.14		6.5	2000	3.8x3.8 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS400K	400	0.16		6.5	1000	5.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS426	426.4	0.13	1.5	5.5	1200	5.0x5.0 LCC
GSM,DCS,PCS	TFS440	440	0.20		6.5	2000	5.0x5.0 LCC
Basestation	TFS500	500	0.20	2.0	5.0	-	3.8x3.8 LCC
GPS	TFS1387	1387	1.00	2.2	5.0	-	5.0x5.0 LCC

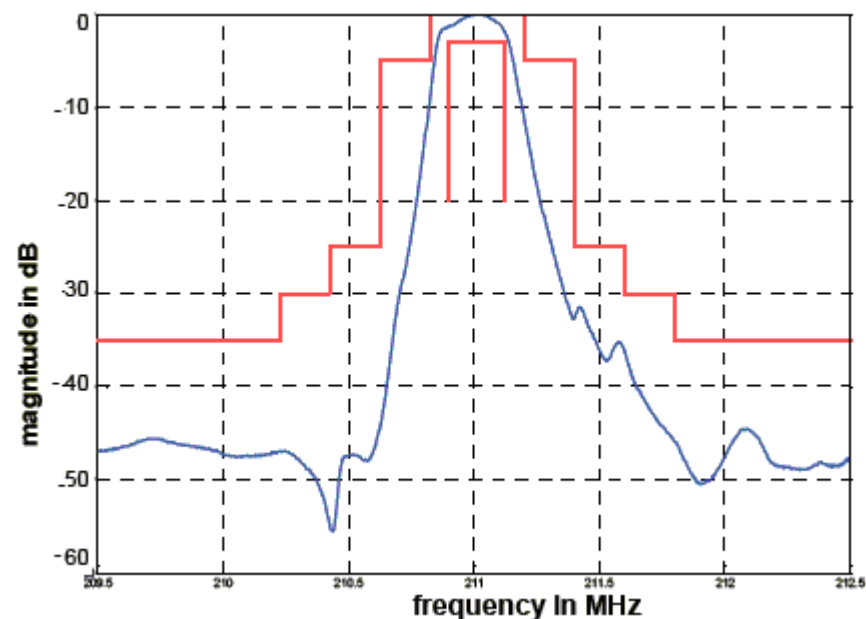
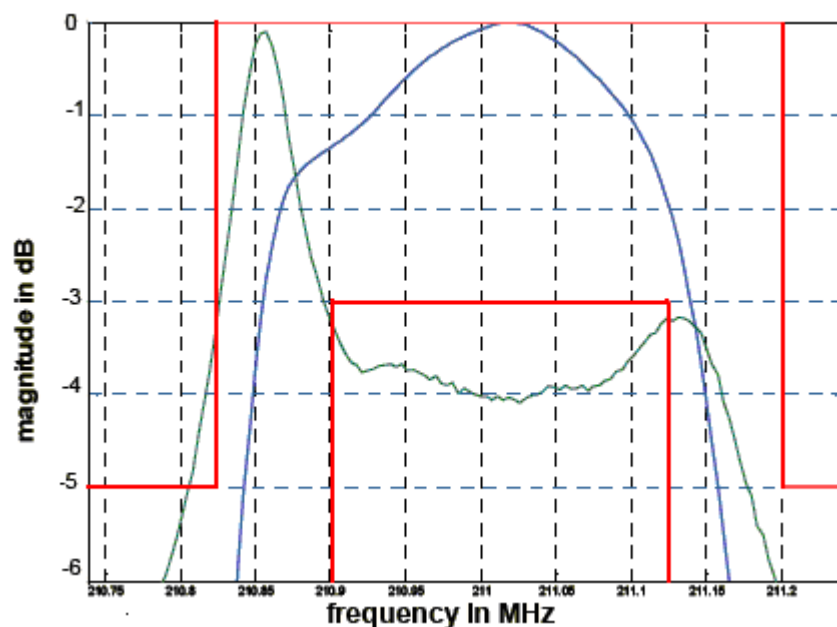


Рис.17. Частотные характеристики ПЧ фильтра модели **TFS 211** для аналоговых систем сотовой связи

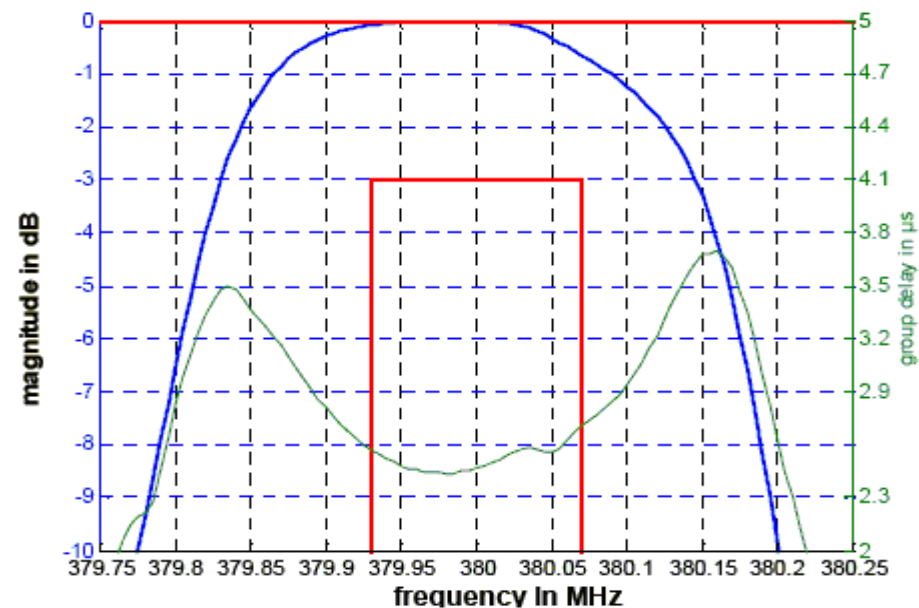
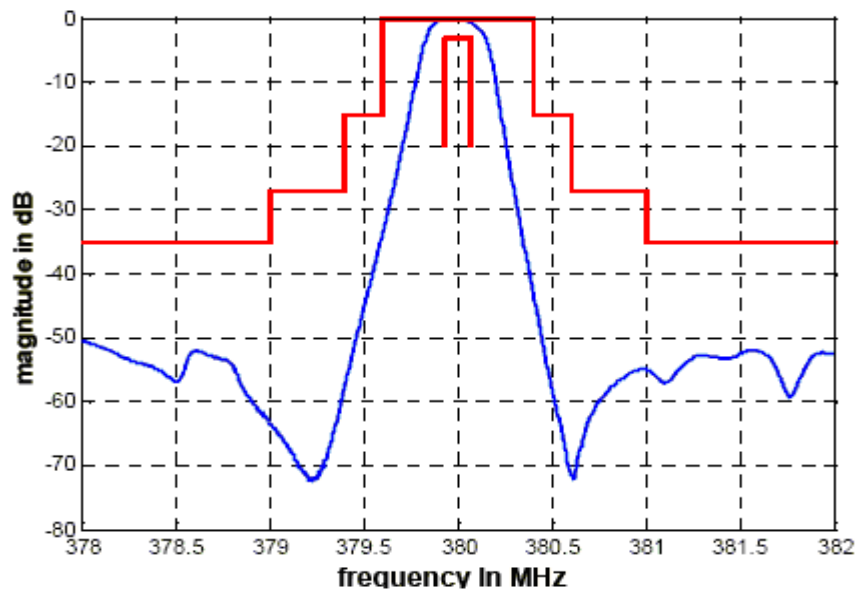


Рис.18. Частотные характеристики ПЧ фильтра модели **TFS 380P** для WiMAX

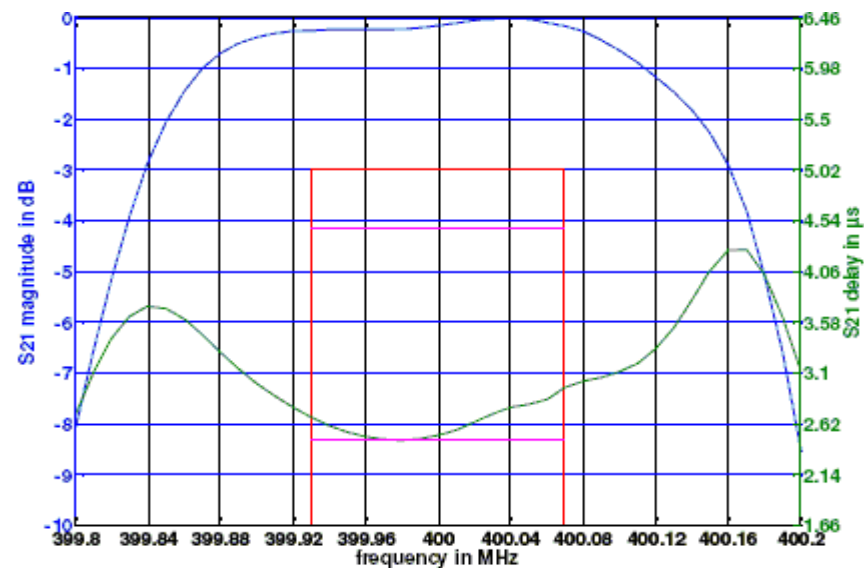
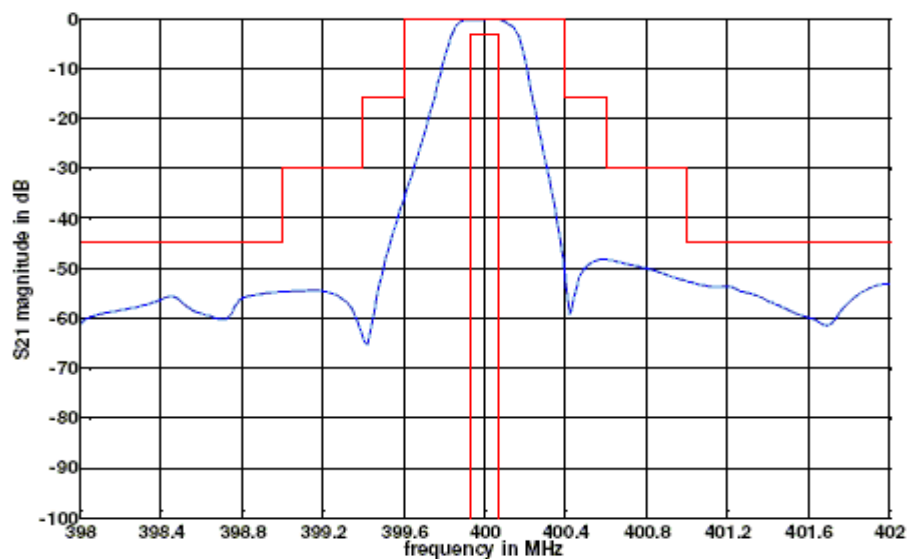


Рис.18. Частотные характеристики ПЧ фильтра модели для аналоговых систем сотовой связи

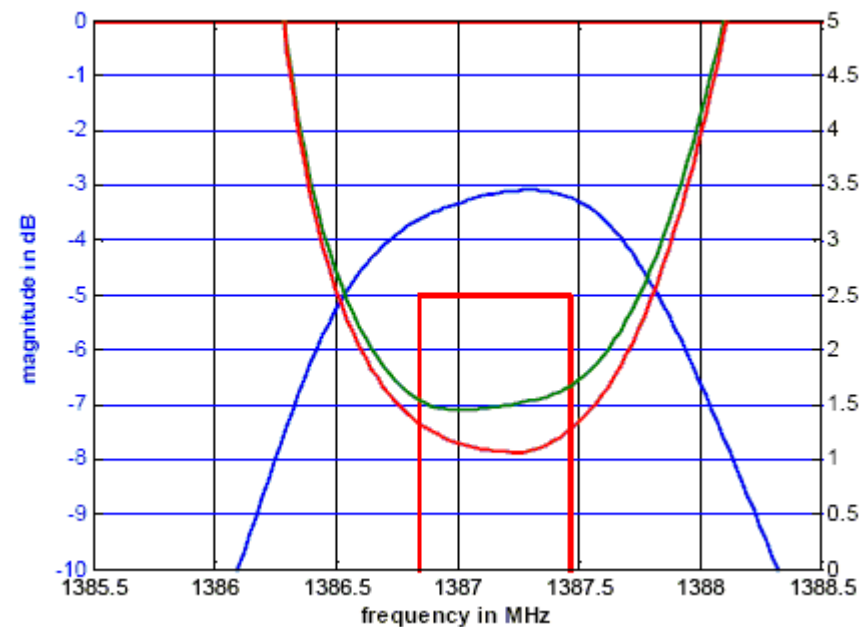
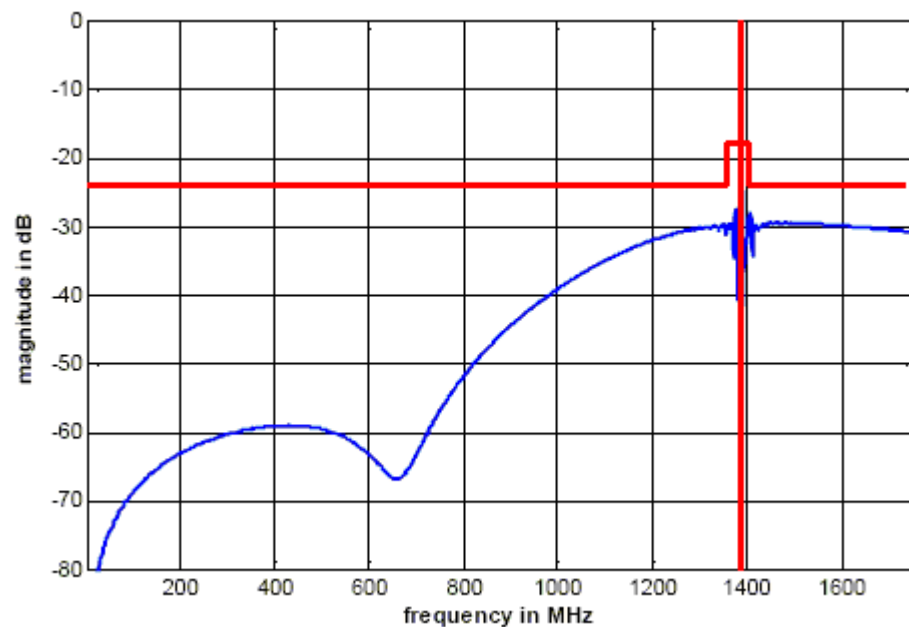


Рис.19. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 1387** для навигационной системы GPS

Таблица 7

Фильтры для беспроводных систем связи

Применение	Модель	Частота, МГц	Полоса, МГц	Неравномерность АЧХ, дБ	Вносимые потери, дБ	Неравномерность ГВЗ, нсек	Корпус, мм
Wireless Communication	TFS112R	112	0.01	1.5	5.0		13.6x6.8 LCC
Wireless Communication	TFS121	121.5	0.05		5.0		11.0x5.0 LCC
Repeater	TFS156C	156.8	0.05		5.0		9.0x7.0 LCC
Wireless Communication	TFS160B	160.62	0,02		5.0		9.0x7.0 LCC
Wireless Communication	TFS179	179.55	0.09		5.0		9.0x7.0 LCC
Wireless Communication !!!	TFS215A	215	0.15	2.0	5.0	1200	9.3x7.3 LCC

Wireless Communication	TFS220F	220	0.10		5.2		7.3x5.3 LCC
Wireless Communication	TFS224	224	0.10		5.2		7.3x5.3 LCC
Wireless Communication	TFS243	243	0.20		5.	1500	9.0x7.0 LCC
Wireless Communication	TFS245C	245.76	0.24	1.5	5.0	1200	7.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS300	300	0.28		6.5	2000	5.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS345A	345	0.20		3.5		5.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS433R	433.92	0.16		6.5	2000	5.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS434	434	0.40		3.5		5.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS450A	450	4.00		4.5		3.8x3.8 LCC
Wireless Communication	TFS451A	451.25	0.09	1.0	3.0		5.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS471A	471.55	0.28		5.0		9.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS471A-1	471.55	0.28		5.0		9.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS471B	471.55	0.20		3.5		7.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS471C	471.55	0.15		5.0		9.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS600	600	0.03		6.5		7.0x5.0 LCC
Wireless Communication	TFS1220	1220	0.10	1.0	6.0	100	3.8x3.8 LCC

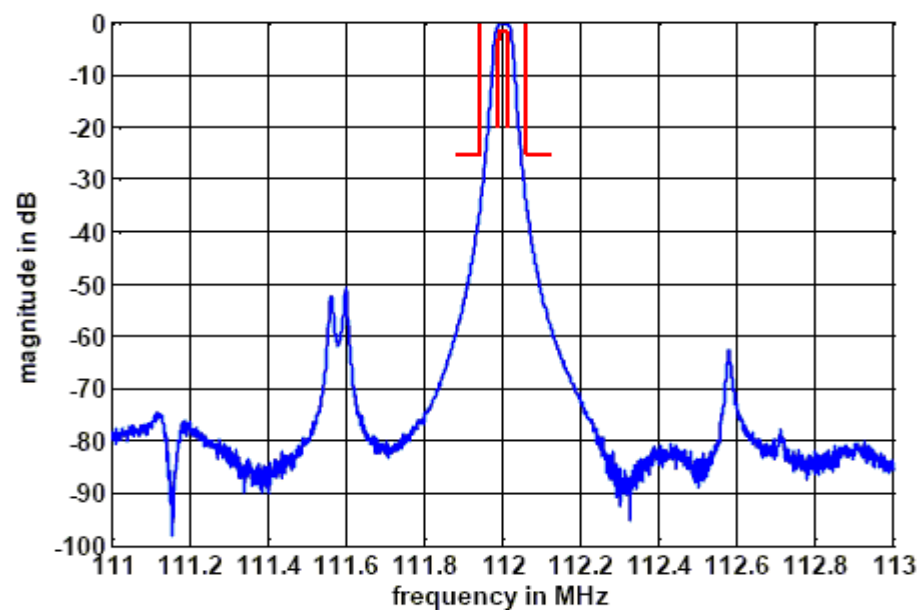
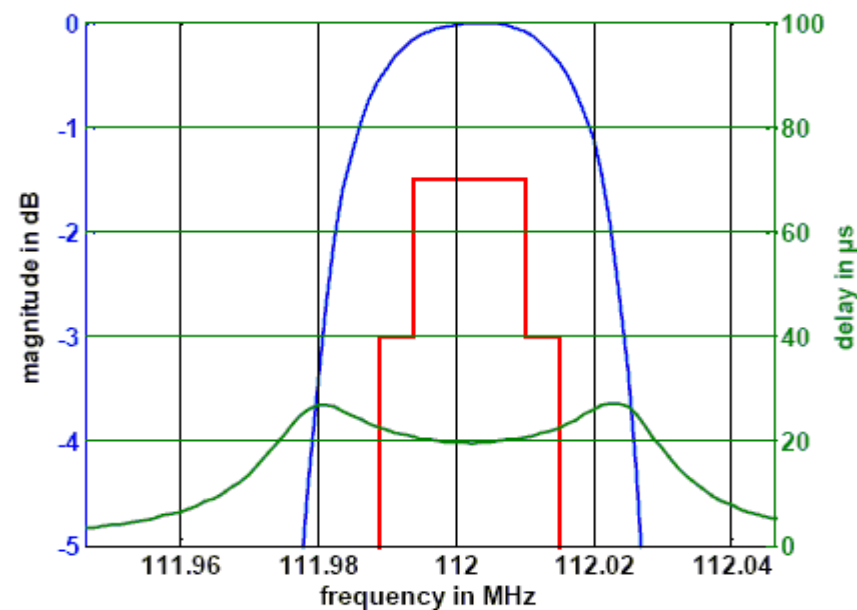


Рис.20. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 112R**

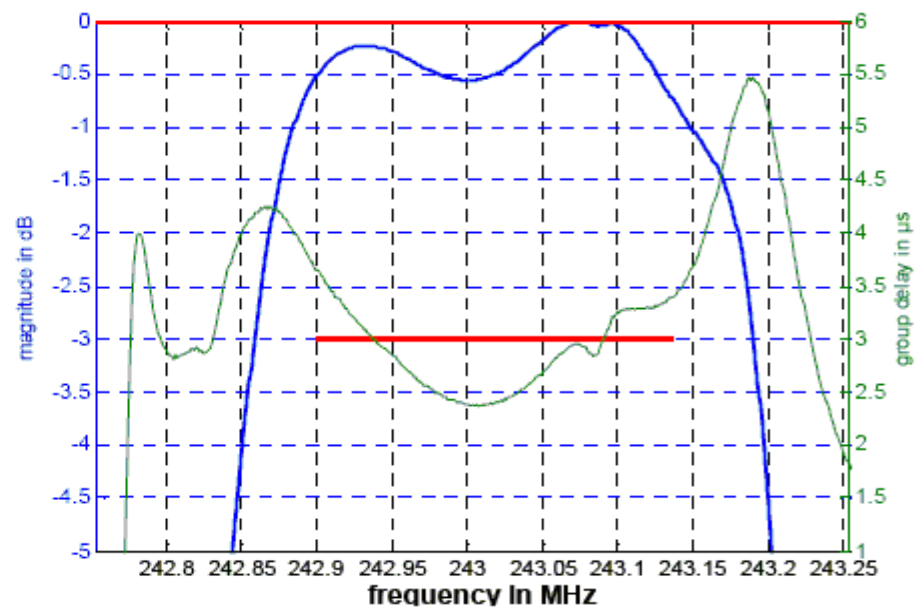
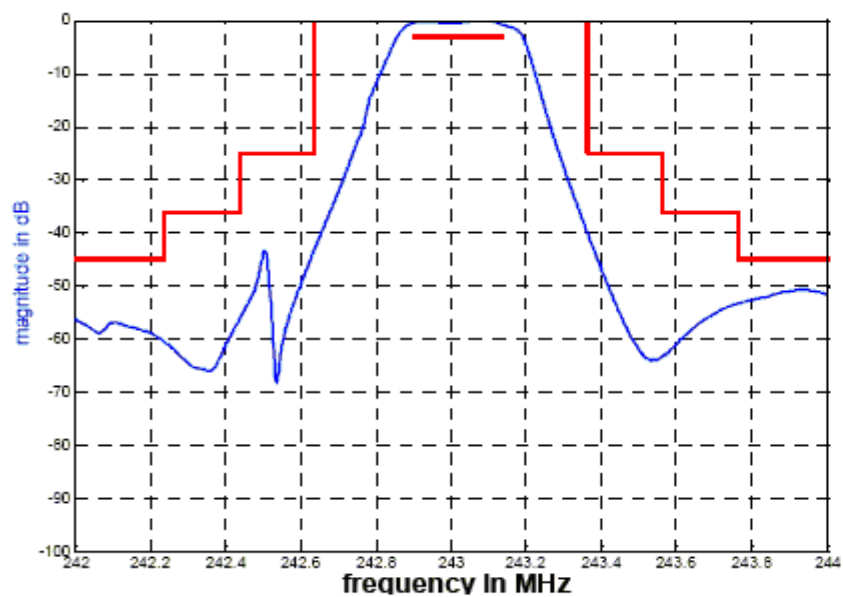


Рис.21. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 243**

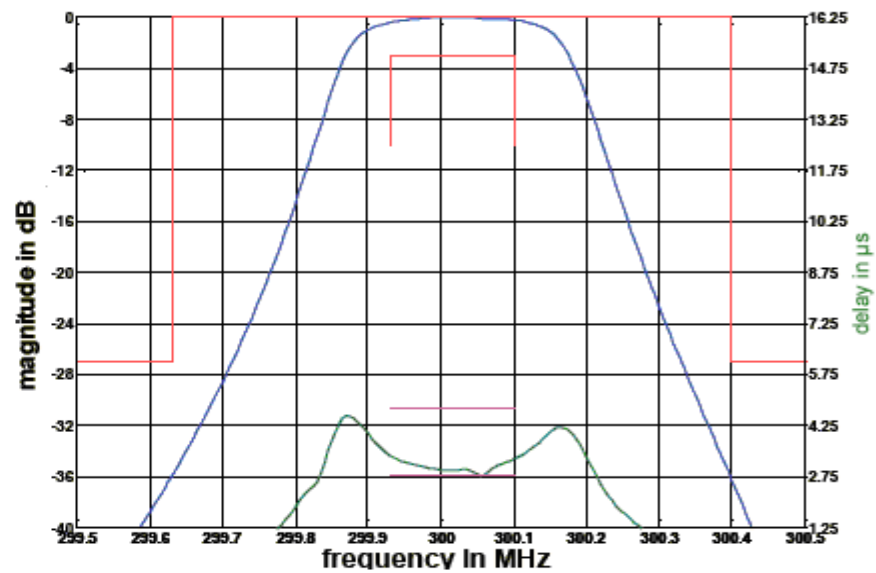
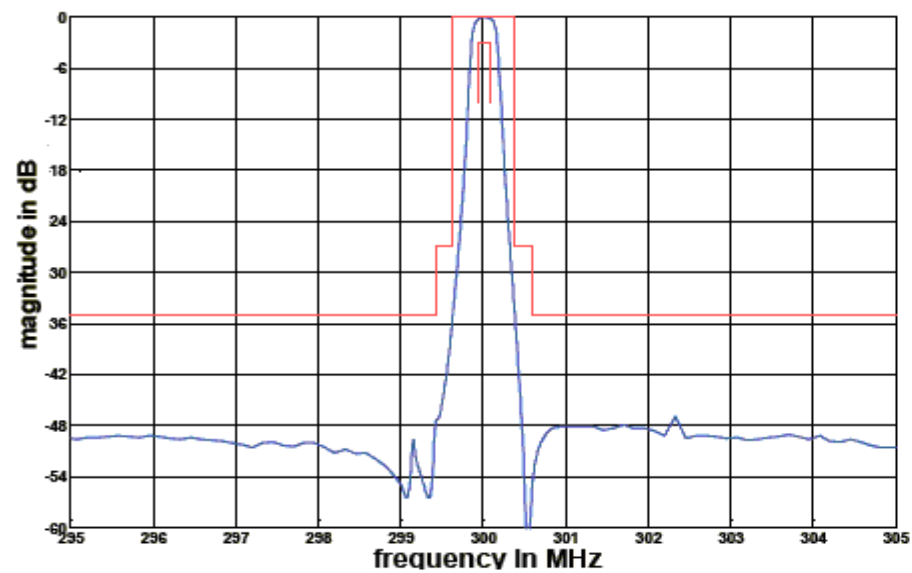


Рис.22. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 300**

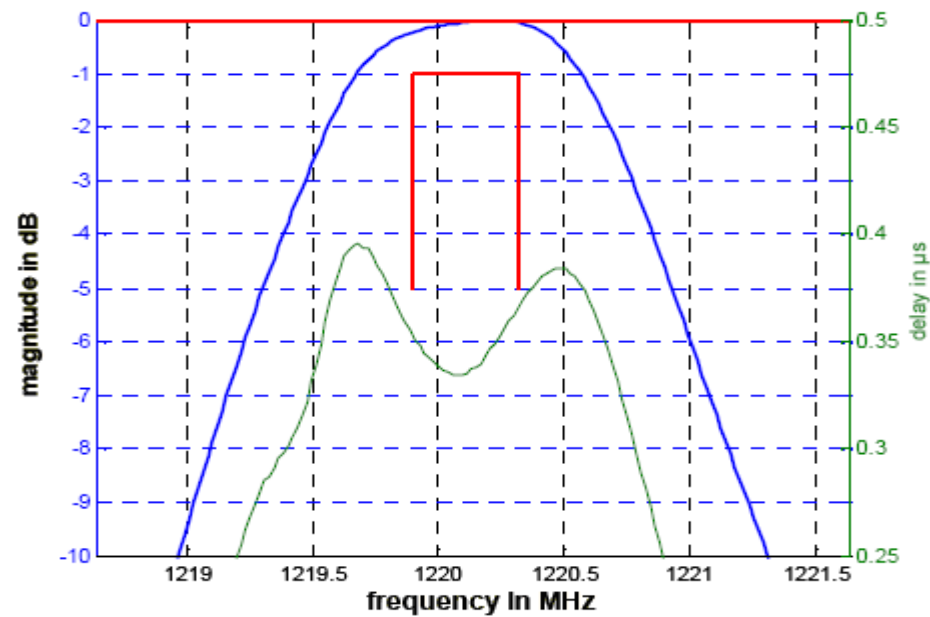
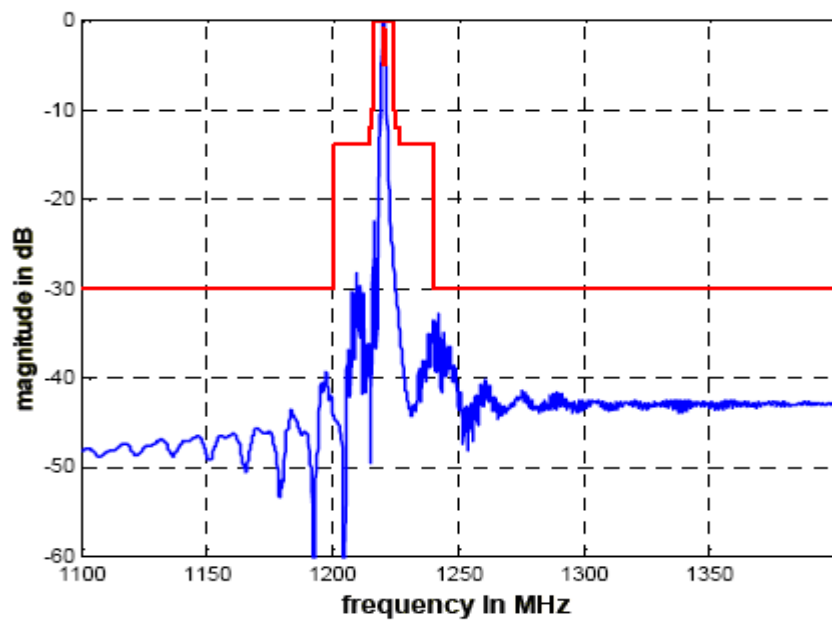


Рис.23. Частотные характеристики фильтра модели **TFS 1200**