СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ (ПАВ) И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АППАРАТУРЕ ОАО "МНИИРС"

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК УСТРОЙСТВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ (ПАВ) И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В АППАРАТУРЕ ОАО "МНИИРС"

1. ВВЕДЕНИЕ:

- принципы работы устройств на ПАВ;
- условная классификация устройств на ПАВ;
- преимущества и недостатки;
- области применения устройств на ПАВ.

2. БАЗОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ И РЕАЛИЗОВАННЫЕ В МНИИРС ПАРАМЕТРЫ ТРАНСВЕРСАЛЬНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПАВ

2.1. Фильтры с высокими вносимыми потерями IL=20-25 дБ:

- на двунаправленных преобразователях.

2.2. Фильтры с уменьшенными вносимыми потерями IL=4-16 дБ:

- на одно-направленных однофазных преобразователях;
- на квази-веерных однонаправленных преобразователях;
- на направленных ответвителях.

3. БАЗОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ И РЕАЛИЗОВАННЫЕ В МНИИРС ПАРАМЕТРЫ РЕЗОНАТОРНЫХ ФИЛЬТРОВ НА ПАВ С МАЛЫМИ ВНОСИМЫМИ ПОТЕРЯМИ IL=1.5-6.0 ДБ:

- на резонаторах с поперечной акустической связью;
- на резонаторах с продольной акустической связью;
- лестничных резонаторных фильтров;
- с комбинированием одно-модовых и двух-модовых звеньев.

4. ОЦЕНКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ

5. ПРОВЕДЕНИЕ РАЗРАБОТОК ДЛЯ СТОРОННИХ ЗАКАЗЧИКОВ

ВВЕДЕНИЕ

В1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ НА ПАВ

Поверхностные акустические волны (ПАВ) – это упругие деформации в твердом теле, имеющие преимущественно продольную компоненту. Поперечная компонента, направленная в глубь твердого тела, мала. Поэтому ПАВ распространяются в приповерхностном слое, глубиной не более 3-4 длин волн.

Основными элементами акустического тракта устройств на ПАВ являются входной и выходной преобразователи и пьезоэлектрический звукопровод (подложка) между ними. Характеристики устройств на ПАВ формируются за счет частотно-зависимого преобразования электрического сигнала в акустическую волну входным преобразователем и акустической волны в электрический сигнал выходным преобразователем. Скорость ПАВ составляет 3-4 км/сек, т.е. на 4 порядка меньше скорости электромагнитной волны. Этим обусловлены габариты устройств на ПАВ, меньшие на 2-3 порядка по сравнению с электромагнитными аналогами.

В2. УСЛОВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ УСТРОЙСТВ НА ПАВ

Устройства на ПАВ можно условно разделить на два класса: **трансверсальные** и **резонаторные**.

Трансверсальные устройства являются **неминимально-фазовыми** и позволяют при проектировании независимо задавать АЧХ и ФЧХ сложной формы, например, симметричную АЧХ и линейную фазу, или несимметричную АЧХ и нелинейную фазу.

К трансверсальным устройствам на ПАВ относятся: полосовые фильтры, взвешивающие фильтры, согласованные фильтры ЛЧМ, ФМ и ММС сигналов, линии задержки, дисперсионные линии задержки, дифференциаторы, частотные дискриминаторы , преобразователи Гильберта и т.д.

Модель, описывающая в первом приближении трансверсальное устройство на ПАВ, близка к модели цифрового фильтра с конечной импульсной характеристикой.

Резонаторные устройства являются минимально-фазовыми и могут быть описаны в первом приближении на основе классической теории цепей.

К **резонаторным устройствам** относятся одно-входовые и двух-входовые резонаторы, полосовые лестничные и мостовые фильтры, полосовые фильтры на резонаторах с электрической или акустической связью, фильтры верхних и нижних частот, режекторные фильтры.

В3. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ УСТРОЙСТВ НА ПАВ

В3.1. Преимущества:

- чрезвычайно малые габариты (на 2-3 порядка по сравнению с электромагнитными аналогами);
- высокая температурная стабильность (0,5-1,0) $\cdot 10^{-6}$ ед/ºС для кварцевых подложек; (18-35) $\cdot 10^{-6}$ ед/ºС для танталат литиевых подложек; (50-90) $\cdot 10^{-6}$ ед/ºС для ниобат литиевых подложек;
- широкий диапазон рабочих частот (1,0 МГц – 15 ГГц);
- малые вносимые потери 1,0-3,0 дБ при полосах пропускания 1-3 %;
- высокая надежность (50-100 тыс. чипов), т.к. число соединений составляет 6-8 вместо нескольких сотен, например, в LC и ФСС;
- высокая повторяемость параметров и низкая стоимость серийном производстве;
- простота регулировки или отсутствие необходимости регулировки вообще.

В3.2. Недостатки:

- малая рассеиваемая мощность (типичная 20-50 мВт, максимальная 1,0-1,5 ВТ);
- высокие вносимые потери для трансверсальных устройств (10-20 дБ);
- чувствительность к электростатическому разряду.

В4. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ НА ПАВ

- Радиотелефоны и базовые станции систем связи стандартов GSM, AMPS, CD, IS-59, PHS, PCS, CDMA, W-CDMA, радиоудлинители стандартов DECT,WLAN и других (в каждом из 95% радиотелефонов используются 4-5 фильтров и резонаторов на ПАВ);
- мобильные системы связи (персональные и автомобильные радиостанции полиции, диспетчеров, военных);
- пейджеры;
- приемо-передатчики систем навигации GPS и GLONASS;
- устройства формирования и обработки сложных сигналов в РЛС дальнего и ближнего обнаружения; систем наведения на цель и сопровождения цели; управления воздушным движением;
- разведывательные приемники;
- бортовая и наземная аппаратура спутниковых систем связи;
- радиорелейные системы связи;
- системы телевидения, включая спутниковое и кабельное (канальные фильтры, фильтры для телевизоров, тюнеров, передатчиков, модуляторов);
- устройства дистанционного радиоуправления (замки, взрыватели и т.д.);
- устройства охраны, включая автомобильную сигнализацию;
- датчики давления, влаги, температуры, ускорения, парциального давления газов.

В 2002 году в мире было выпущено около 1,5 млрд. штук устройств на ПАВ.

1. ТРАНСВЕРСАЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ПАВ

1.1. На двунаправленных встречно-штыревых преобразователях (ВШП) (с потерями IL=20-25 дБ)

Аналоги :Частоты 10-1500 МГц (15 ГГц). Полосы пропускания BW3=3-80%.
Преимущества:
- высокая прямоугольность АЧХ до $К_П$=(BW40/3 дБ)=1,15;
- малые пульсации ГВЗ (до GDT=5-8 нсек) и фазы PD=0,5-1,0 град);
- высокая избирательность (до UR=70 дБ);
- возможность реализации несимметричных АЧХ и нелинейных ФЧХ.

Недостатки:
- высокие вносимые потери до 25-30 дБ.

1.2. На однонаправленных преобразователях с уменьшенными потерями IL=6-14 дБ

Аналоги: Частоты 30-1000 МГц (2500 МГц). Полосы пропускания BW3=0,5-30 %.
Преимущества:
- сниженные вносимые потери IL=4-12 дБ.

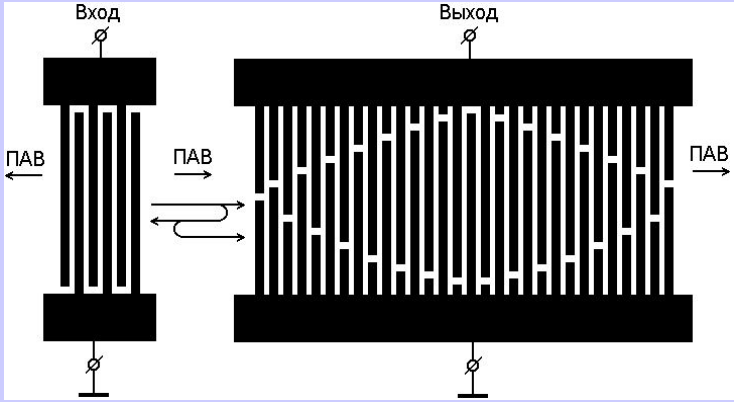
Недостатки:
- сложность реализации пульсаций ГВЗ менее GDV=30 нсек;
- сложность получения избирательности более 45-50 дБ при полосах до BW3=5%.

Таблица 1

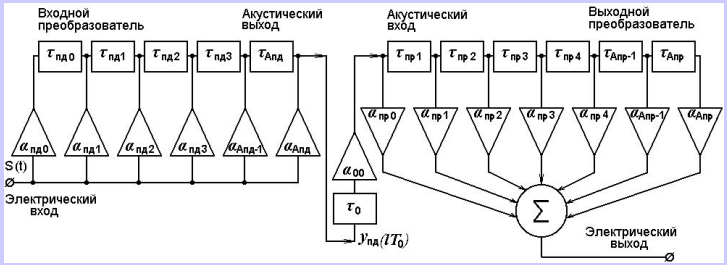
Основные параметры трансверсальных фильтров на ПАВ разработки ОАО "МНИИРС "

Параметр	Един.	На двунаправленных ВШП	На однонаправленных преобразователях		
			Одно-фазные	Квази-веерные	Ответ-вители
Центральная частота, F_0	МГц	20-600	70-500	50-400	70-300
Вносимые потери, IL	дБ	15-25	6-14	8-18	4-6
Полоса пропускания, BW3	%	3-75	0,5-10	3-30	5-15
Коэффициент прямоугольности АЧХ, $К_П$ (40/3	-	1,15-2,5	1,8-3,5	1,3-2,5	1,8-3,0
Пульсации амплитуды, (п-п)	дБ	0,1-0,6	0,3-0,8	0,3-0,8	0,5-1,5
Пульсации ГВЗ, (п-п)	нсек	8-30	40-150	20-80	50-250
Гарантированное затухание, UR	дБ	45-60	40-50	40-50	40-60
Примеры реализации		ФП-479 ФП-331	ФП-322 ФП-521	ФП-448 ФП-458	ФП-305

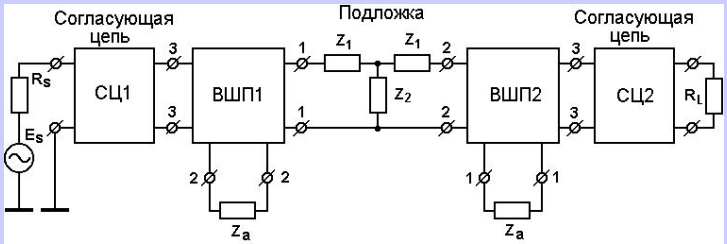
ТРАНСВЕРСАЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ДВУНАПРАВЛЕННЫХ ВШП
(Потери IL=15-25 дБ. Полосы BW3=3-75%)



а

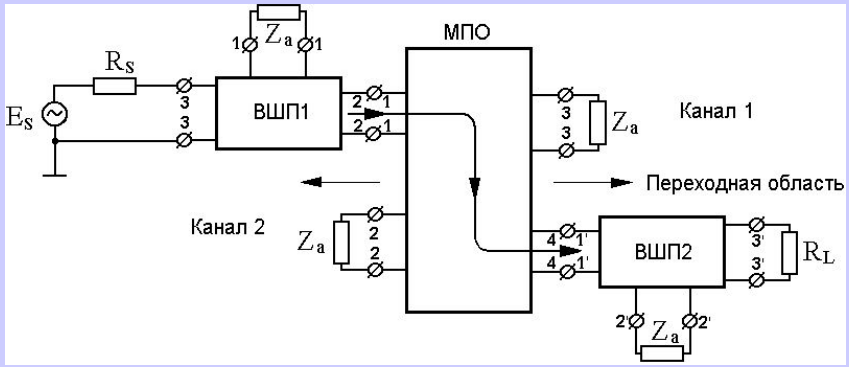


б

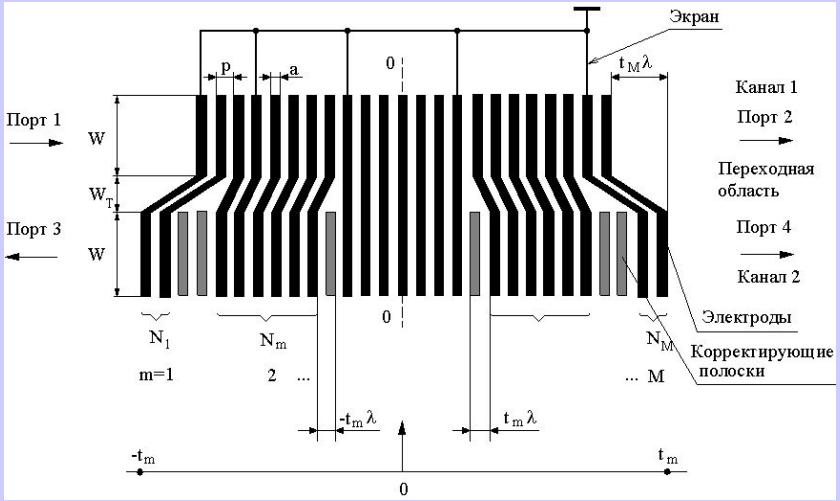


в

Рис.1.1. Схема работы трансверсального фильтра на ПАВ:
а – структура фильтра с двумя двунаправленными встречно-штыревыми преобразователями в одном акустическом канале;
б – структурная схема трансверсального устройства;
в – структурная схема для расчета S-параметров фильтра через матрицы элементов его электрического и акустического трактов



а



б

Рис.1.2. Трансверсальный фильтр на ПАВ с двумя акустическими каналами и с селективным многополосковым ответвителем (МПО) между ними:
а – структурная схема для расчета S-параметров фильтра;
б – структура секционированного селективного МПО и его параметры

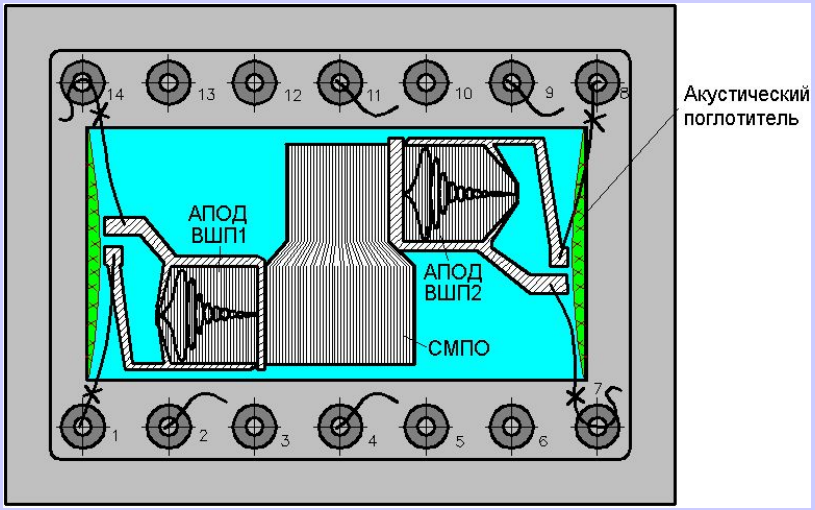


Рис.1.3. Сборка трансверсального фильтра ФП-479 (140/20 МГц) в металло-стеклянном корпусе 151.15-8 (DIP 19.5x14.5x5.0 мм)

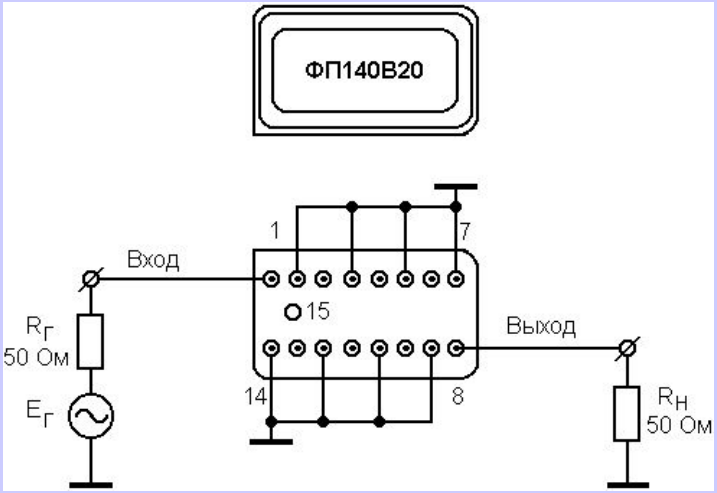
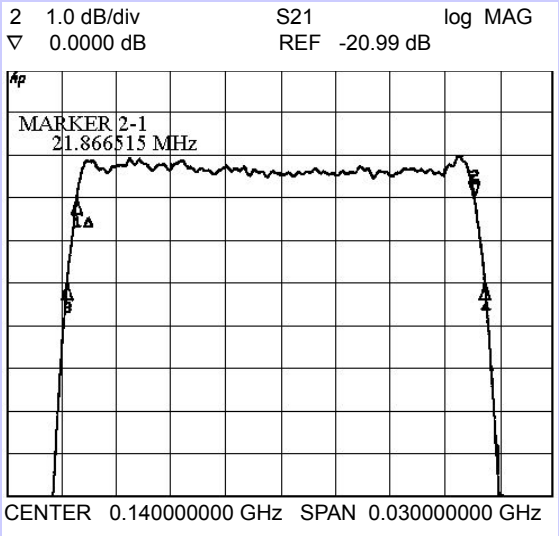
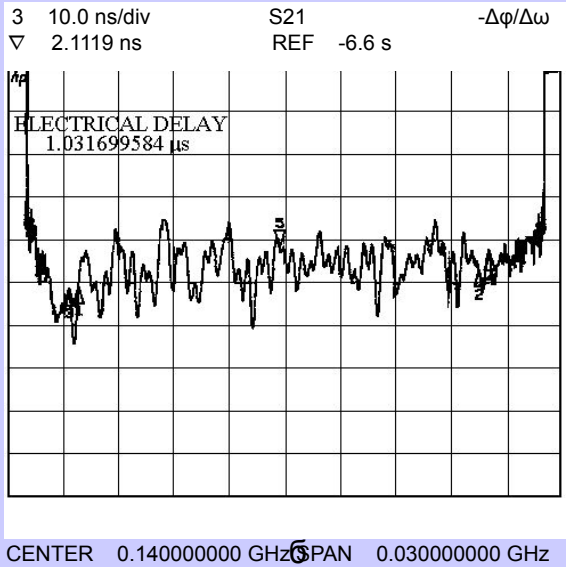


Рис.1.4. Рекомендуемая схема включения в корпусе DIP 19.5 x 14.5 x 5.0 мм

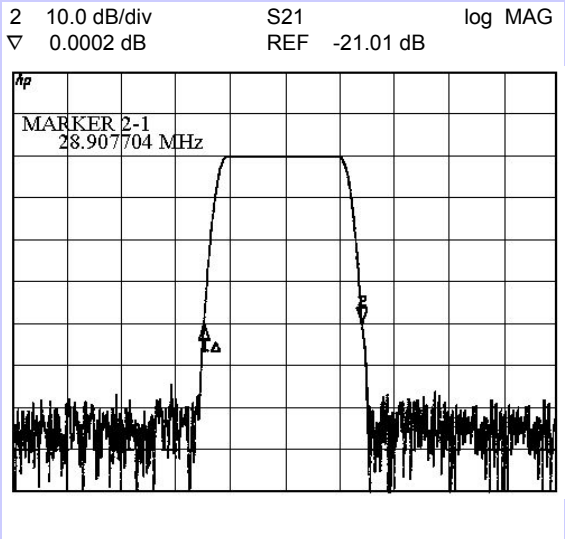
Частотные характеристики трансверсального фильтра FP-479 (140/20 МГц) на двунаправленных встречно-штыревых преобразователях



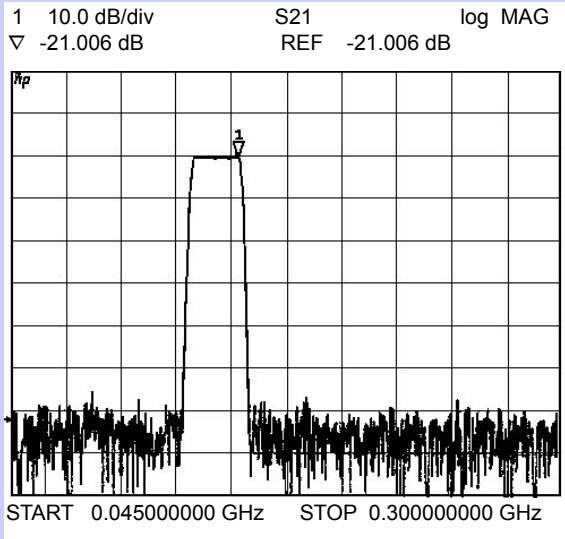
а



б



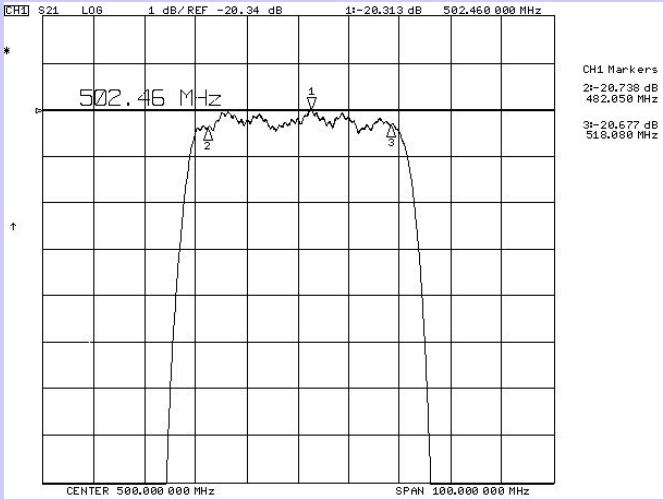
в



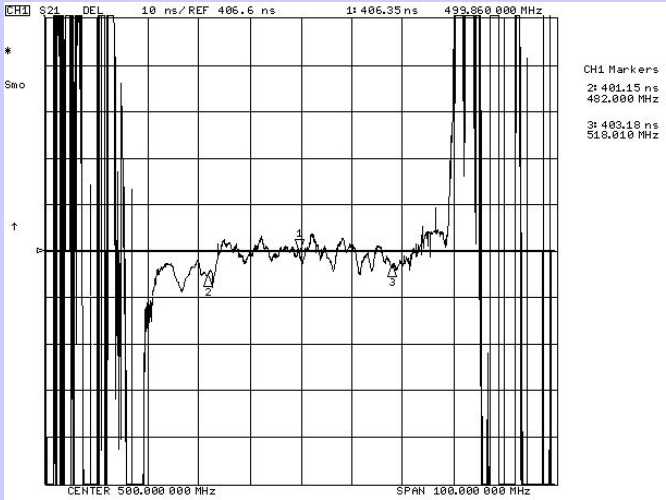
г

Рис.1.5. Измеренные частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-479 на двунаправленных встречно-штыревых преобразователях:
а - |S21| в полосе пропускания; б – GDT в полосе пропускания; в - |S21| в средней полосе частот; г - |S21| в широкой полосе частот;
Частота: F_0=140,0 МГц. Полоса BW3=22,97 МГц. Потери: IL=21,0 дБ. Избирательность UR=56 дБ

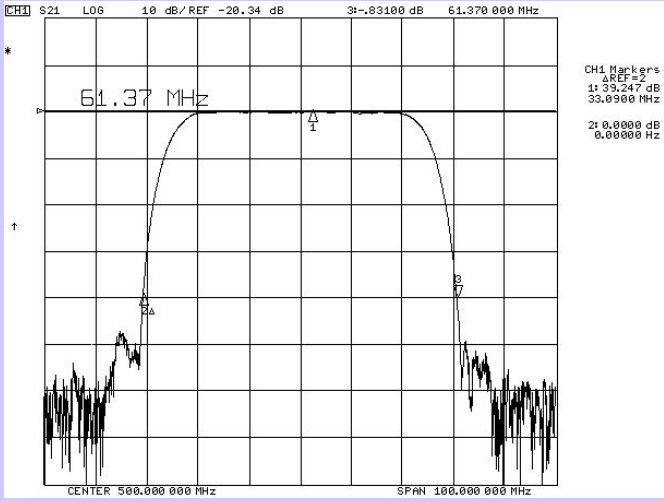
Частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-331 (500/36 МГц) на двунаправленных встречно-штыревых преобразователях



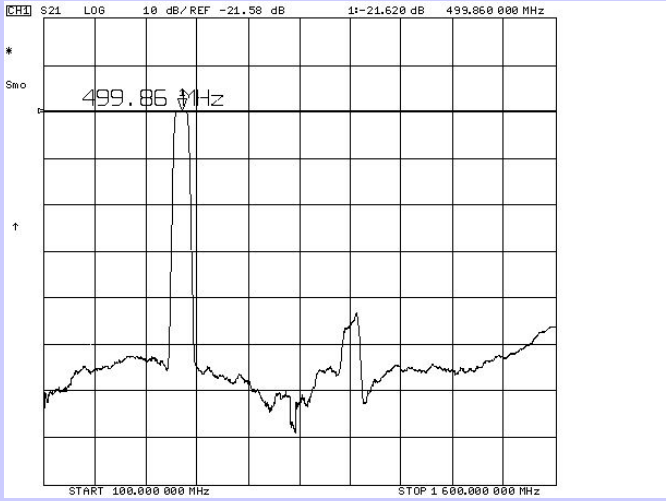
а



б



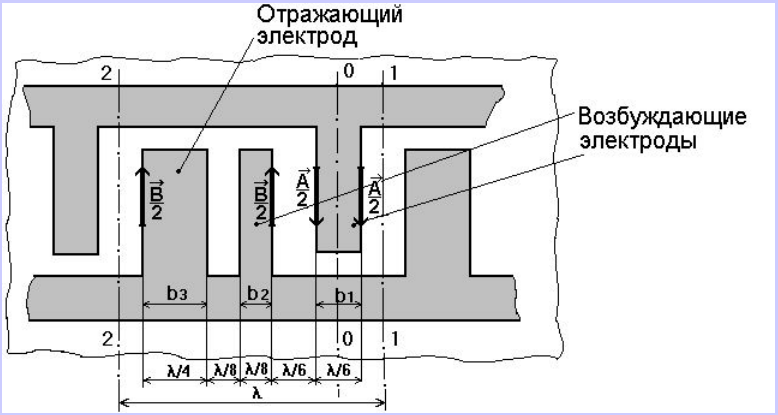
в



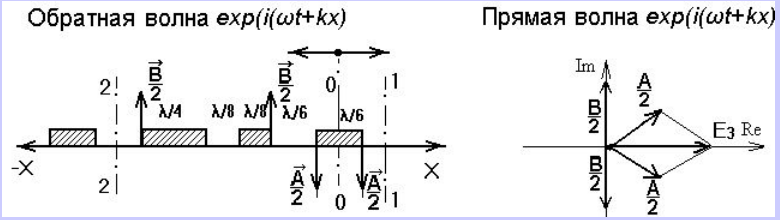
г

Рис.1.6. Измеренные частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-331
на двунаправленных встречно-штыревых преобразователях:
а - |S21| в полосе пропускания; б – GDT в полосе пропускания; в - |S21| в средней полосе частот; г - |S21| в широкой полосе частот
Частота: F_0=500 МГц. Полоса BW1=43 МГц. Потери: IL=20,3 дБ. Избирательность UR=54 дБ

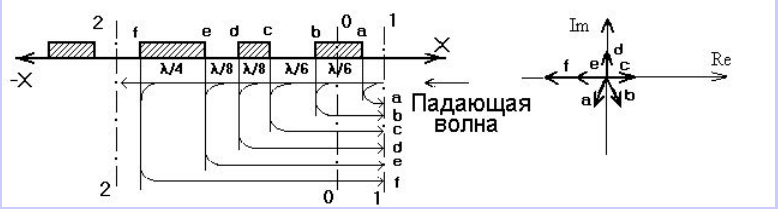
ФИЛЬТРЫ НА ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ОДНОФАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ
(Потери IL=6-12 дБ. Полосы BW3=0,5-10,0 %)



а



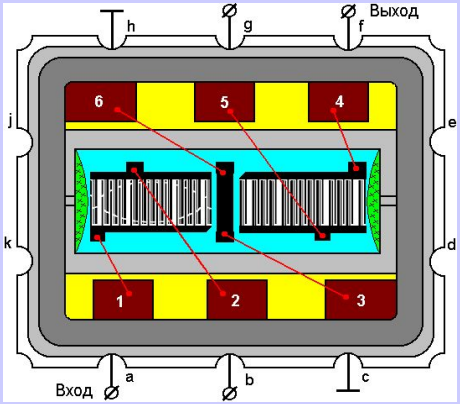
б



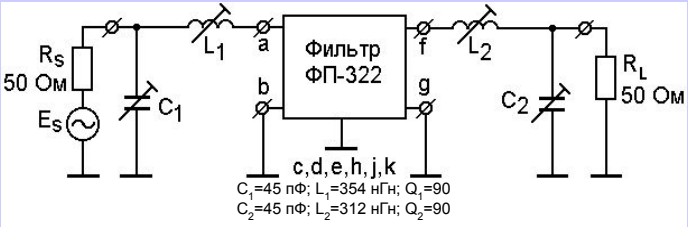
в

Рис.1.7. Трехэлектродный однофазный однонаправленный преобразователь (ОНП):
а – элементарная секция;
б – возбуждение ПАВ;
в – отражение ПАВ

а



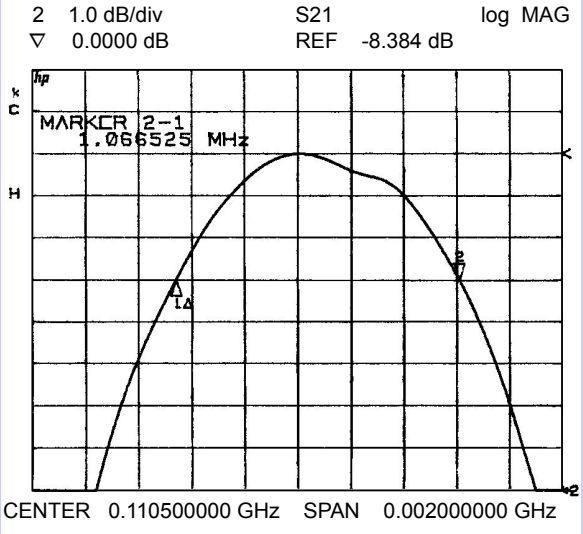
б



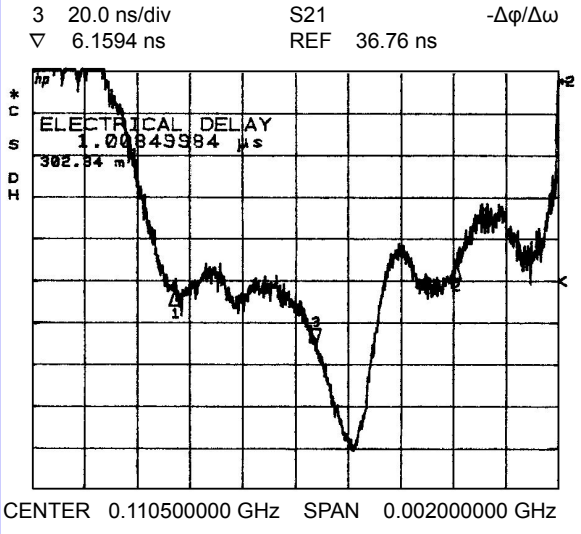
в

Рис.1.8. Трансверсальный фильтр ФП-322 (110.5/1.1 МГц) на однофазных однонаправленных преобразователях:
а – топология фильтра;
б – сборка в корпусе SMD 9.1 x 7.1 x 1.6 мм;
в – схема включения

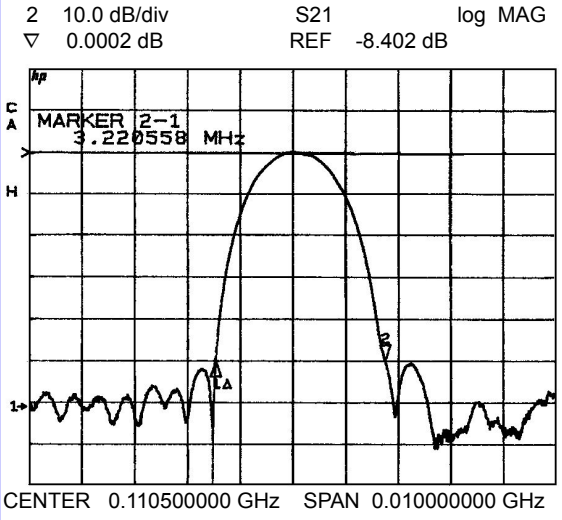
Частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-322 (110,5/1,1 МГц) на однофазных однонаправленных преобразователях



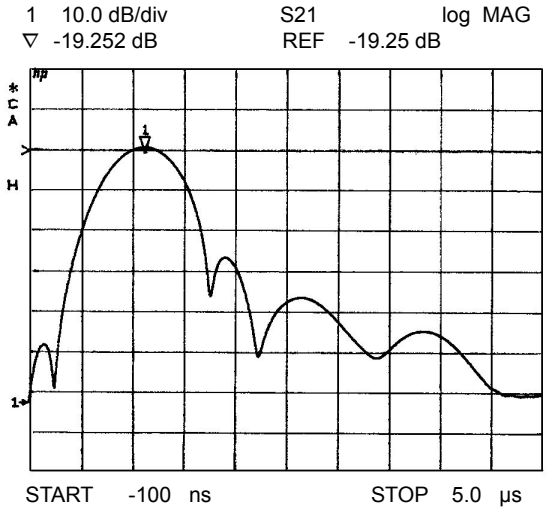
а



б



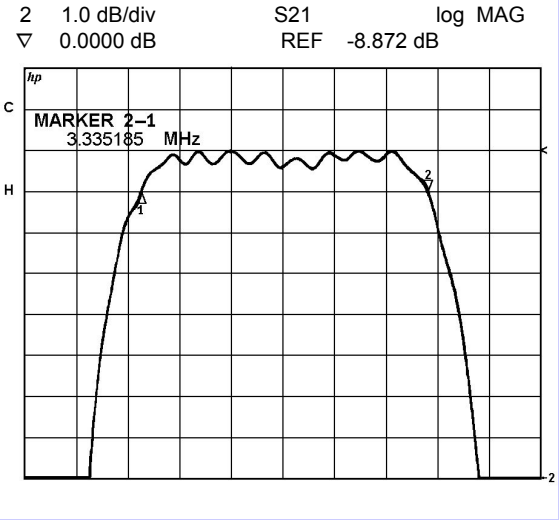
в



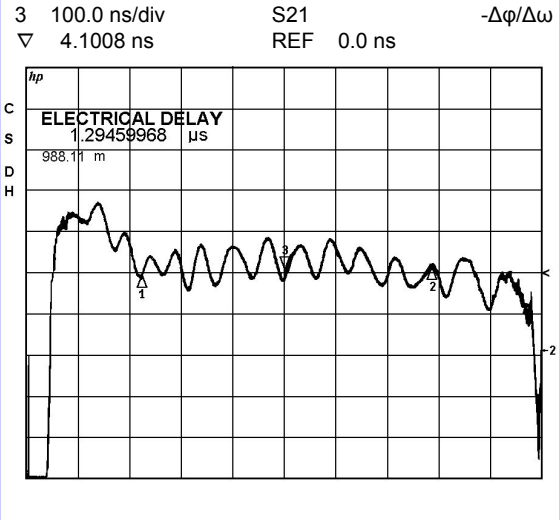
г

Рис.1.9. Измеренные частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-322 на однофазных однонаправленных преобразователях:
а - |S21| в полосе пропускания; б – GDT в полосе пропускания; в - |S21| в средней полосе частот; г – импульсная характеристика
Частота: F_0=110.5 МГц. Полоса BW3=1.1 МГц. Потери: IL=8,4 дБ. Избирательность UR=50 дБ

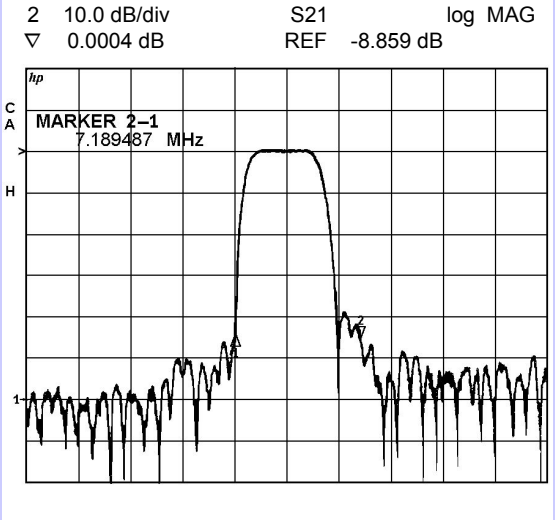
Частотные характеристики фильтра ФП-521 (134.5/3.9 МГц) на однофазных однонаправленных преобразователях



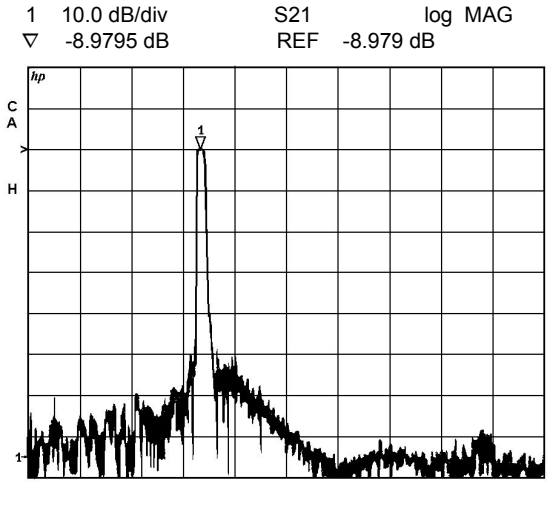
а



б



в



г

Рис.1.10. Измеренные частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-521 (134.5/3.9) на однофазных однонаправленных преобразователях:
а - |S21| в полосе пропускания; б – GDT в полосе пропускания; в - |S21| в средней полосе частот; г - |S21| в широкой полосе частот;
Частота: F_0=134.5 МГц МГц. Полоса BW3=3.9 МГц. Потери: IL=9,0 дБ. Избирательность UR=50 дБ

ФИЛЬТРЫ НА КВАЗИ-ВЕЕРНЫХ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ
(Потери IL=8-18 дБ. Полосы BW3=3-30%)

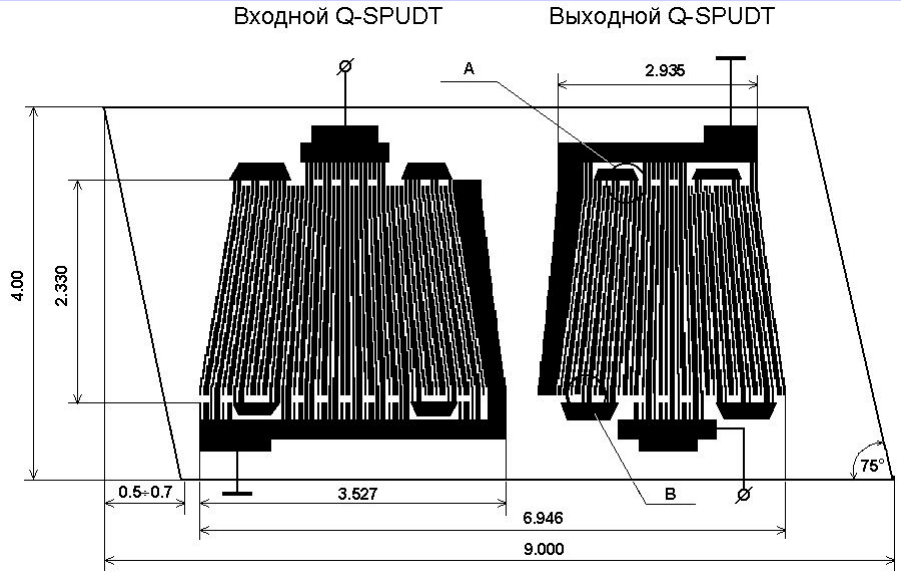


Рис.1.11. Топология фильтра на квази-веерных ОНП

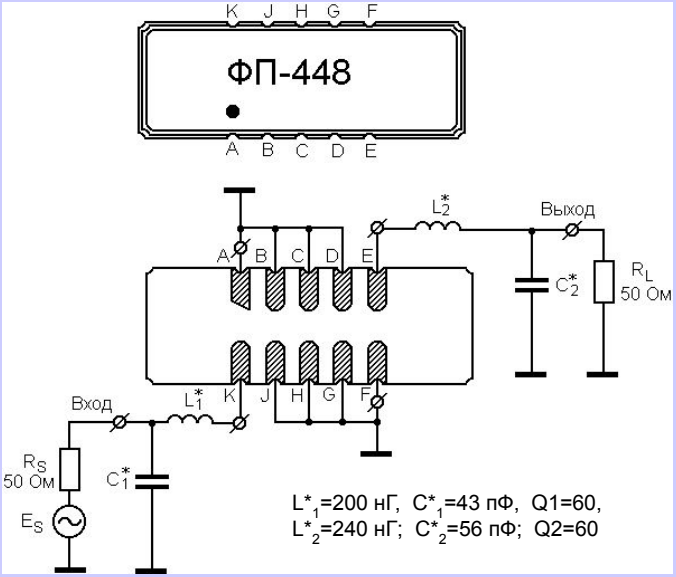
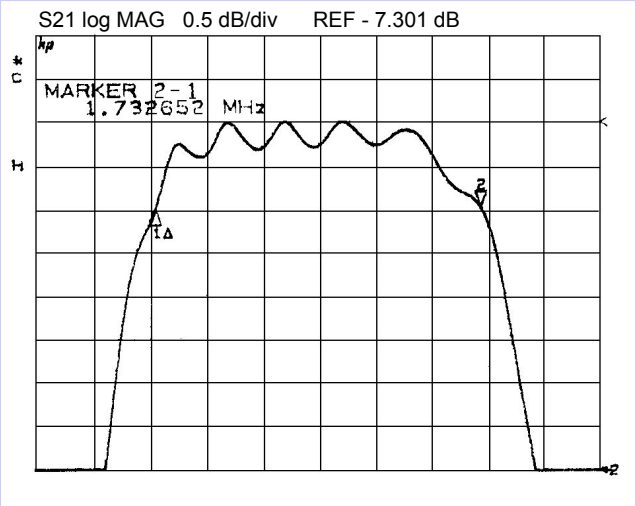
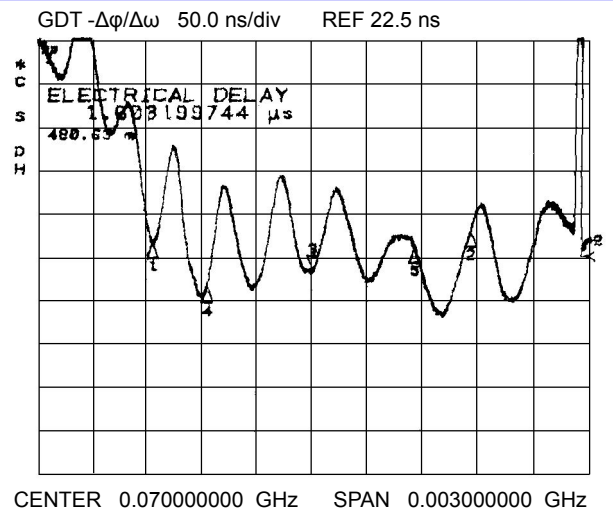


Рис.1.13. Схема включения фильтра ФП-448 в корпусе SMD 19.0x6.5x1.8 мм, KD-V98286, KYOCERA, Япония

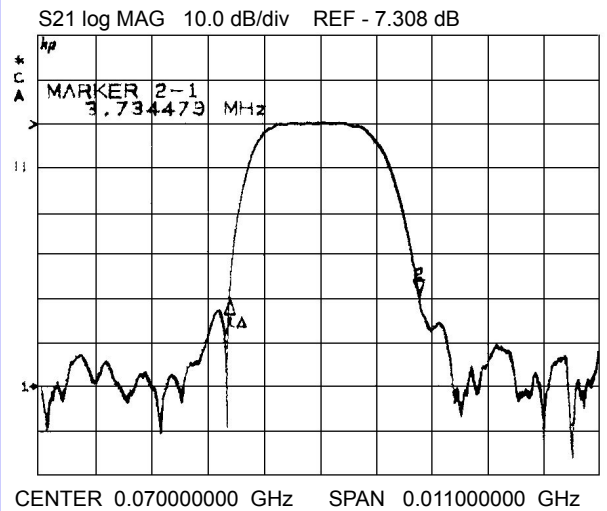
Частотные характеристики фильтра ФП-448 (70/2,1 МГц) на квази-веерных однонаправленных преобразователях



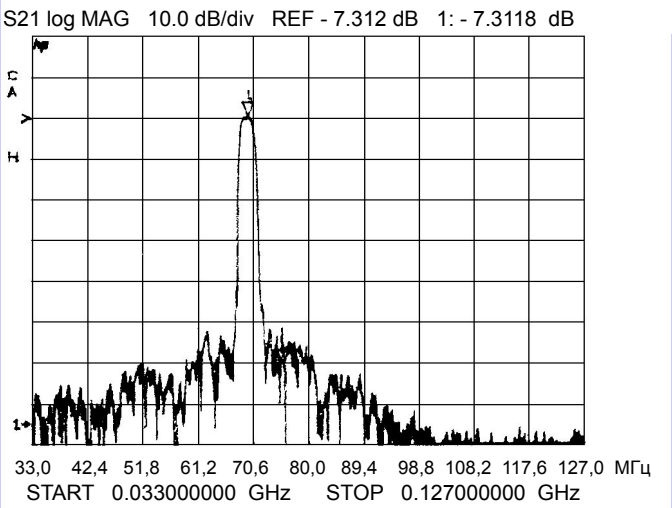
а



б



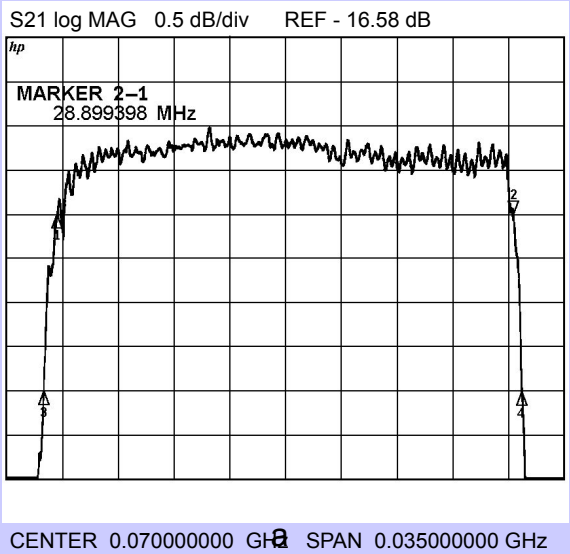
в



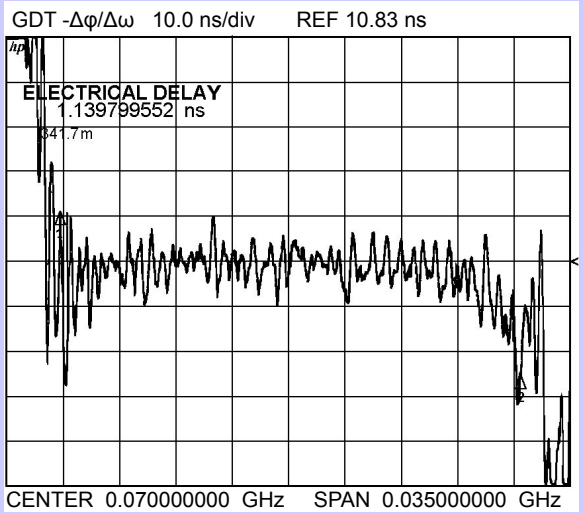
г

Рис.1.12. Измеренные частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-448 на квази-веерных однонаправленных преобразователях:
а - |S21| в полосе пропускания; б – ГВЗ в полосе пропускания; в - |S21| в средней полосе частот; г - |S21| в широкой полосе частот
Частота: F_0=70 МГц. Полоса BW3=2,1 МГц. Потери: IL=7,3 дБ. Избирательность UR=50 дБ

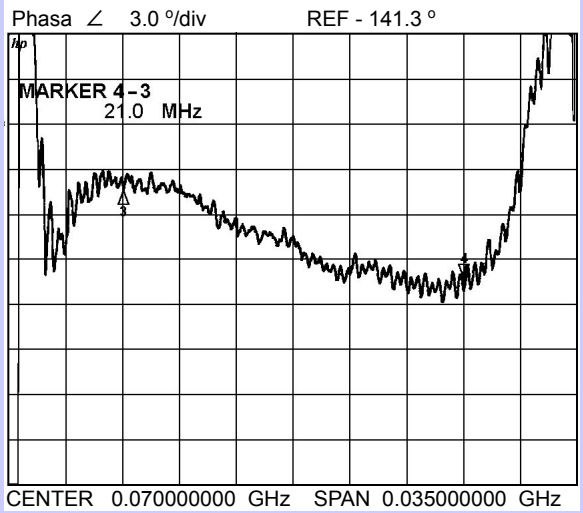
Частотные характеристики фильтра ФП-458 (70/30,3 МГц) на квази-веерных однонаправленных преобразователях



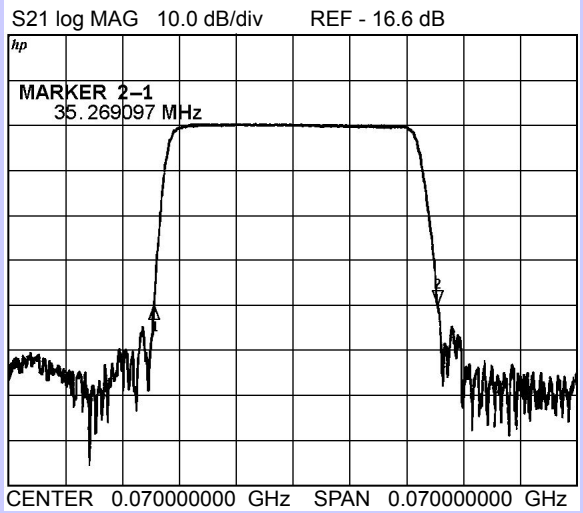
а



б



в



г

Рис.1.14. Измеренные частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-458 на квази-веерных однонаправленных преобразователях:
а - |S21| в полосе пропускания; б – ГВЗ в полосе пропускания; в – ФЧХ в полосе пропускания; г - |S21| в средней полосе частот
Частота: F_0=70 МГц. Полоса BW3=30,3 МГц. Потери: IL=16,6 дБ. Избирательность UR=50 дБ

ФИЛЬТРЫ НА ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ОТВЕТВИТЕЛЯХ
(Потери IL=4-6 дБ. Полосы BW3=5-15%)

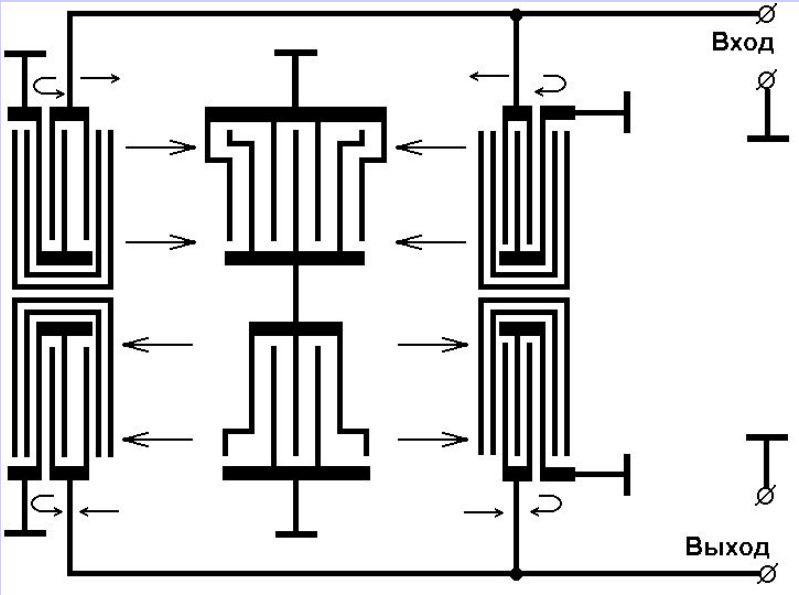


Рис.1.15. Структурная схема фильтра на ПАВ с малыми вносимыми потерями с ОНП на U –образных направленных ответвителях

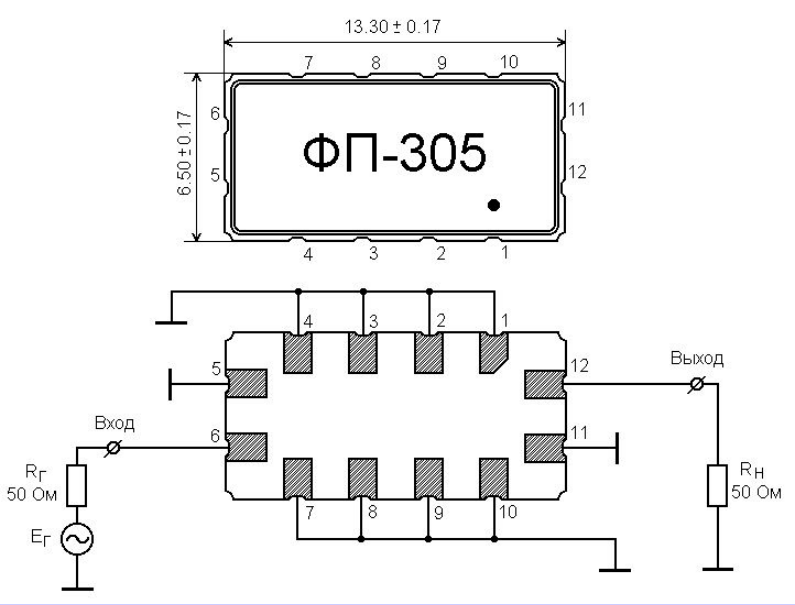
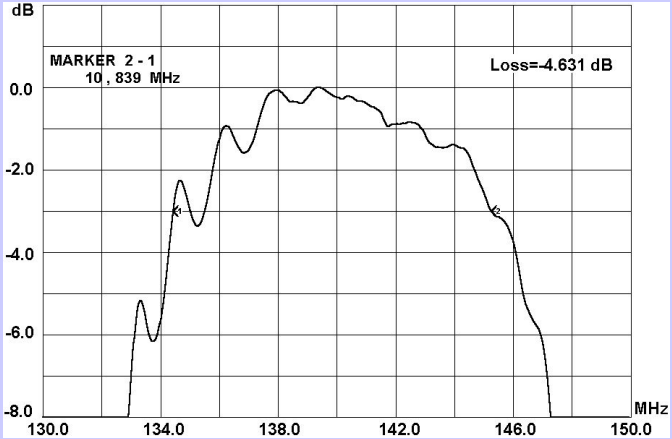
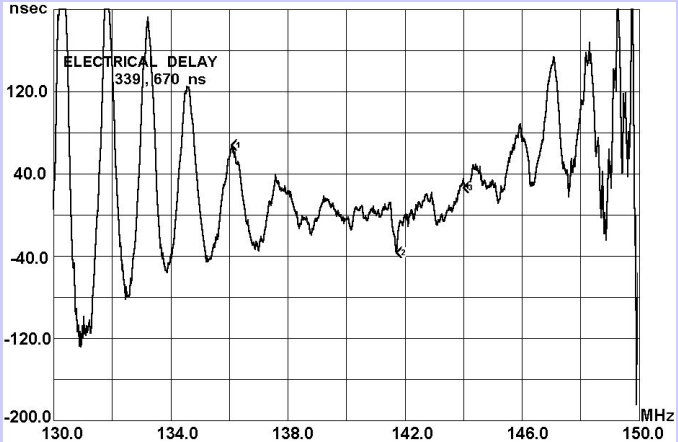


Рис.1.17. Схема включения фильтра ФП-305 в корпусе SMD 13,3x6,5x1,8 мм, IRK 12F2-5857C-C, NTK Technical Ceramics, Япония

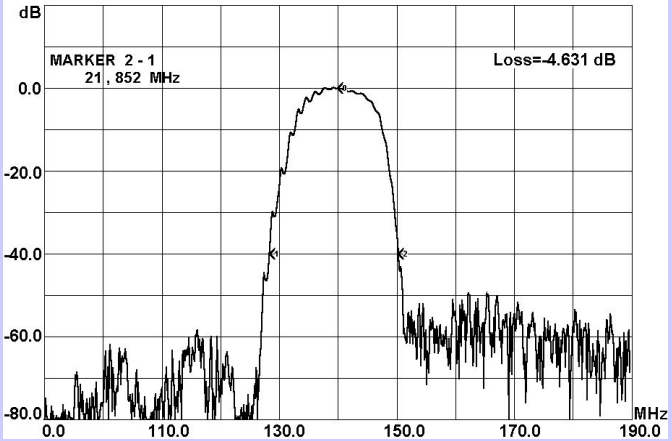
Частотные характеристики фильтра ФП-305 на направленных ответвителях



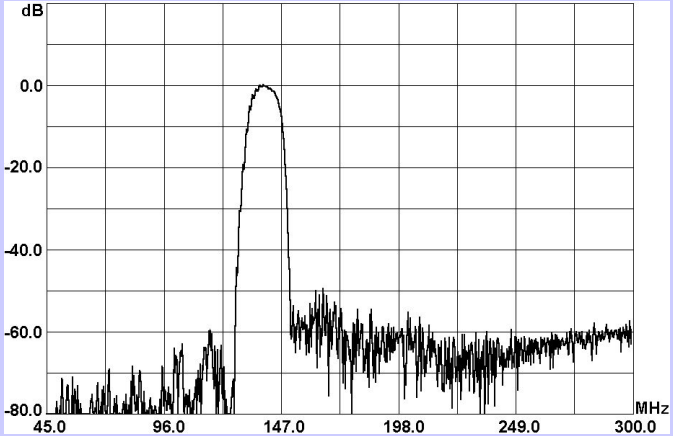
а



б



в



г

Рис.1.16. Измеренные частотные характеристики трансверсального фильтра ФП-305 на направленных ответвителях (МПО):
а - |S21| в полосе пропускания; б – GDT в полосе пропускания;
в - |S21| в средней полосе частот; г - |S21| в широкой полосе частот
Частота: F_0=140,0 МГц. Полоса BW3=10,8 МГц. Потери: IL=4,63 дБ. Избирательность UR=50 дБ

Основные параметры трансверсальных фильтров на ПАВ разработки ОАО "МНИИРС "

Параметр	Един.	На двунаправленных ВШП	На однонаправленных преобразователях		
			Одно-фазные	Квази-веерные	Ответ-вители
Центральная частота, F_0	МГц	20-600	70-500	50-400	70-300
Вносимые потери, IL	дБ	15-25	6-14	8-18	4-6
Полоса пропускания, BW3	%	3-75	0,5-10	3-30	5-15
Коэффициент прямоугольности АЧХ, $К_П$ (40/3	-	1,15-2,5	1,8-3,5	1,3-2,5	1,8-3,0
Пульсации амплитуды, (п-п)	дБ	0,1-0,6	0,3-0,8	0,3-0,8	0,5-1,5
Пульсации ГВЗ, (п-п)	нсек	8-30	40-150	20-80	50-250
Гарантированное затухание, UR	дБ	45-60	40-50	40-50	40-60
Примеры реализации		ФП-479 ФП-331	ФП-322 ФП-521	ФП-448 ФП-458	ФП-305

2. РЕЗОНАТОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ПАВ С МАЛЫМИ ВНОСИМЫМИ ПОТЕРЯМИ IL=1,5-6,0 ДБ

2.1. Сверх-узкополосные фильтры на поперечно-связанных резонаторах
Частоты: F_0=70-1000 МГц. Полосы пропускания BW3=0,05-0,2%. Потери IL=3-8 дБ.
Преимущества:
- высокая избирательность до 60-70 дБ;
- высокая температурная стабильность ТКЧ=-0,3 $\cdot 10^{-6}$ 1/ºС.

Недостатки:
- сложность изготовления из-за необходимости подстройки частоты резонаторов с точностью (0,01-0,02)%.

2.2. Узко-полосные лестничные резонаторные фильтры (без акустической связи резонаторов)
Частоты: F_0=400-3200 МГц. Полосы пропускания BW3=2-3%. Потери: IL=1,2-4,0 дБ.
Преимущества:
- самые малые вносимые потери.

Недостатки:
- ограниченный диапазон полос пропускания.

2.3. Средне-полосные фильтры на продольно-связанных резонаторах
Частоты: 100-2400 МГц. Полосы пропускания BW3=3-8%. Потери: IL=1,8-6,0 дБ.
Преимущества:
- высокая избирательность в широкой полосе частот;
- возможность трансформации импедансов, например, 50 Ом на входе, 200 Ом на выходе;
- возможность построения балансных структур для подавления электромагнитной наводки.

Недостатки:
- паразитное "плечо" с уровнем –(25-30) дБ на правом склоне АЧХ;
- сложность реализации потерь менее 2,5 дБ.

2.4. Средне-полосные фильтры с комбинированием лестничных и акустически связанных звеньев
Зарубежные аналоги отсутствуют.
Преимущества: высокая избирательность.
Недостатки: сложность проектирования и изготовления.

Таблица 2

Основные параметры резонаторных фильтров на ПАВ разработки ОАО "МНИИРС"

Параметр	Един.	На поперечно-связанных резонаторах	На продольно-связанных резонаторах	Лестничные без акустической связи	Комбинированные
Центральная частота, F_0	МГц	70-870	169-1842	120-1607	108-500
Вносимые потери, IL	дБ	3-8	2,8-3,5	1,3-4,0	3-6
Полоса пропускания, BW3	%	0,05-0,2	2-8	2-3	2-5
Коэффициент прямоугольности АЧХ, Кп (40/3	-	1,8-2,5	2,2-3,5	1,8-2,5	1,8-2,5
Пульсации амплитуды, (п-п)	дБ	0,3-0,8	0,3-0,8	0,2-0,5	0,3-0,5
Параболическое изменение ГВЗ, (п-п)	нсек	200-1500	20-60	30-60	50-70
Гарантированное затухание, UR	дБ	45-70	45-60	40-60	50-70
ТКЧ	ppm/°C	0,5-1,0	30-80	30	30
Примеры реализации		ФП-702 ФП-728	ФП-518 ФП-514	ФП-637 ФП-645	ФП-517

2.1. СВЕРХ-УЗКОПОЛОСНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ПОПЕРЕЧНО-СВЯЗАННЫХ РЕЗОНАТОРАХ
(Полосы BW3=0,05-0,2%. Вносимые потери IL=3-8 дБ)

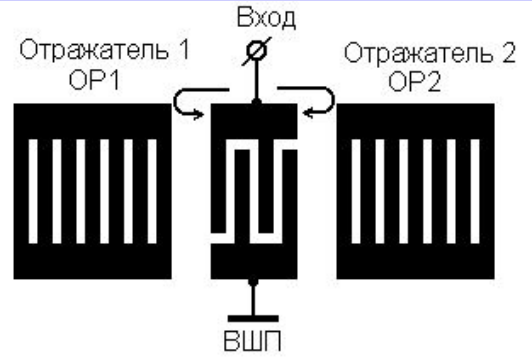


Рис. 2.1. Одно-входовый резонатор на ПАВ

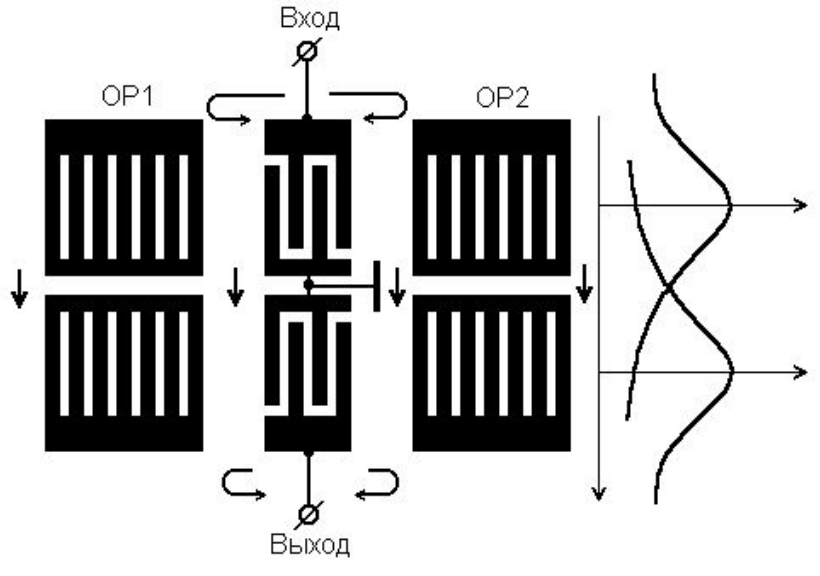
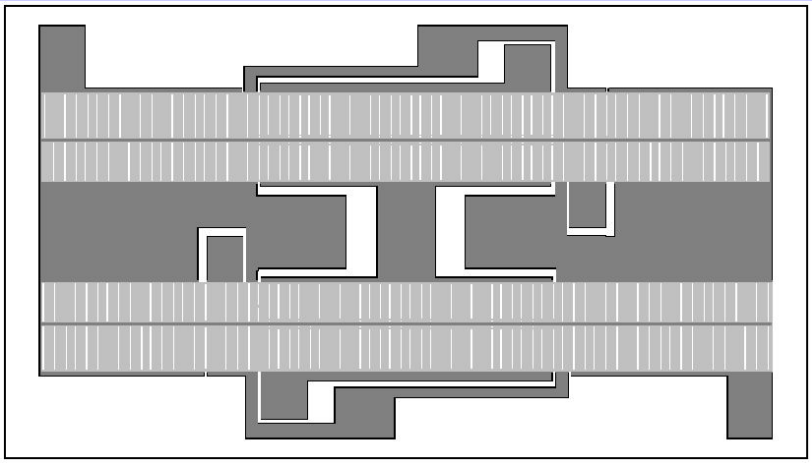
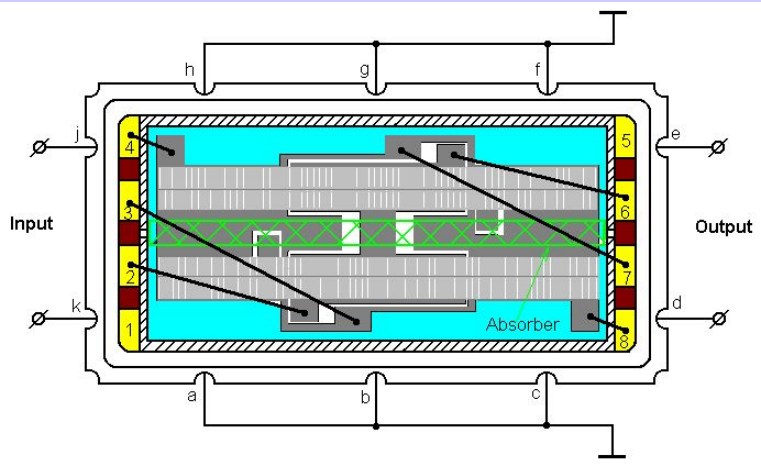


Рис.2.2. Звено фильтра из двух резонаторов с поперечной акустической связью

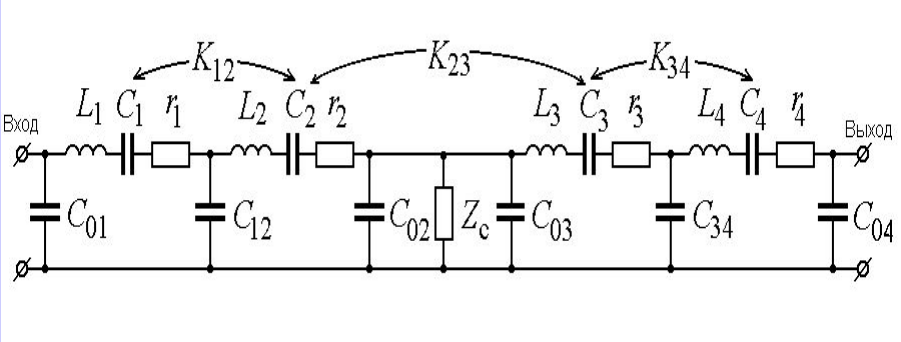
Фильтр ФП-728 с поперечно-связанными парами резонаторов



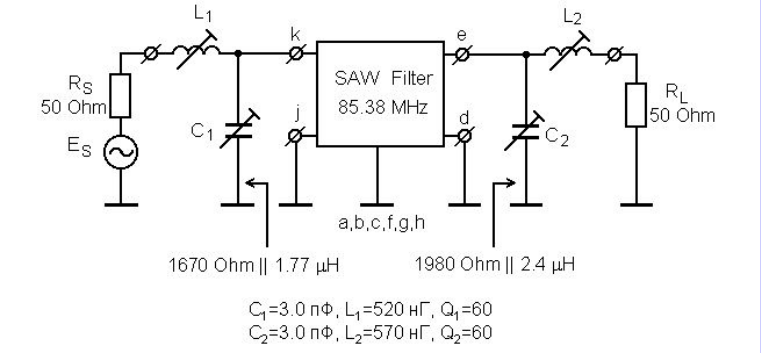
а



б



в

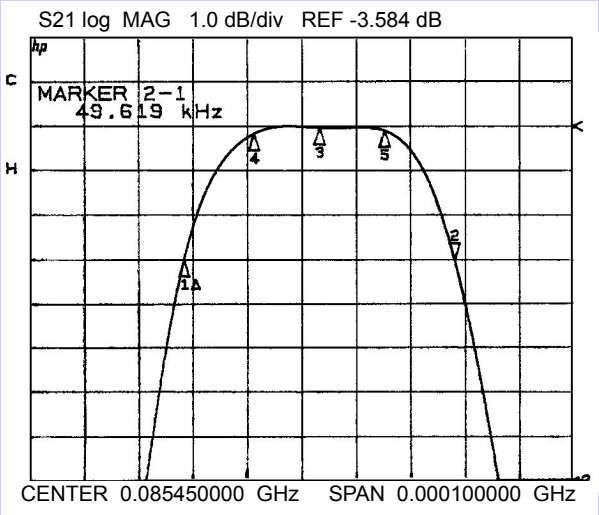


г

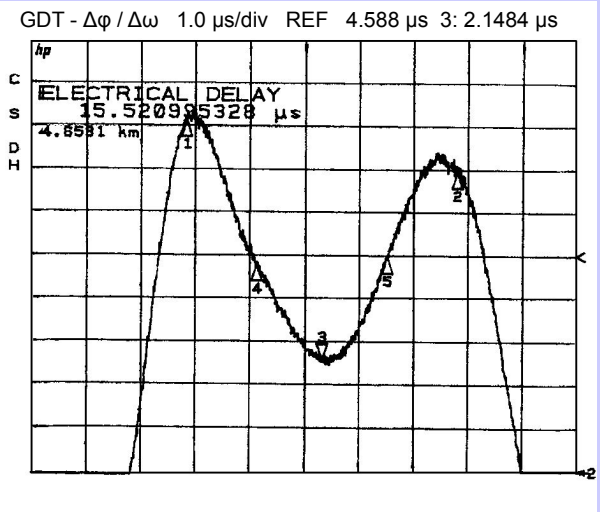
Рис.2.3. Двух-звенный фильтр ФП-728 (85,38 / 0,05 МГц) с парами акустически связанных резонаторов и электрической связью между звеньями

а – топология фильтра;
б – сборка в корпусе : SMD 9.1 x 4.8 x 1.6 mm, KD-V93742, KYOCERA, Япония,
в – эквивалентная схема;
г – рекомендуемая схема включения

Частотные характеристики фильтра ФП-728 (85,38 / 0,05 МГц) на поперечно-связанных резонаторах

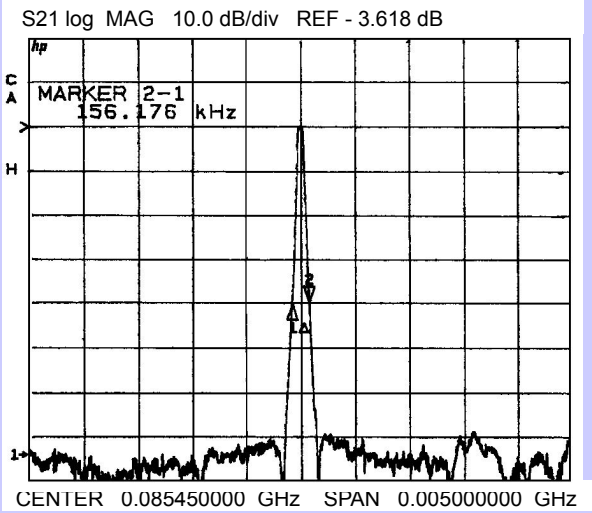


а



CENTER 0.085450000 GHz SPAN 0.000100000 GHz

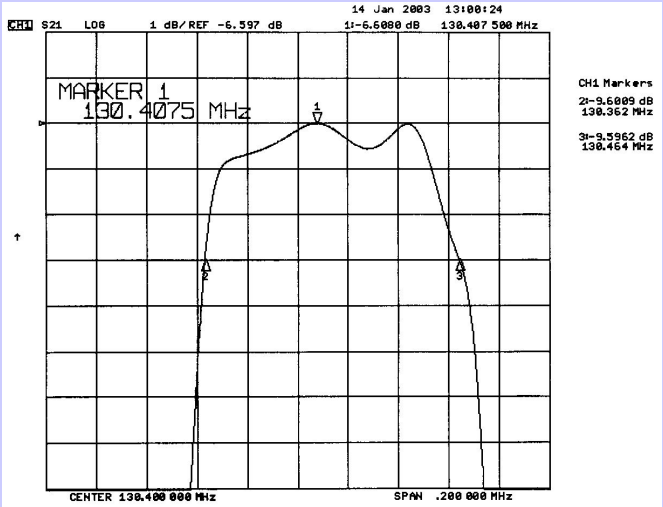
б



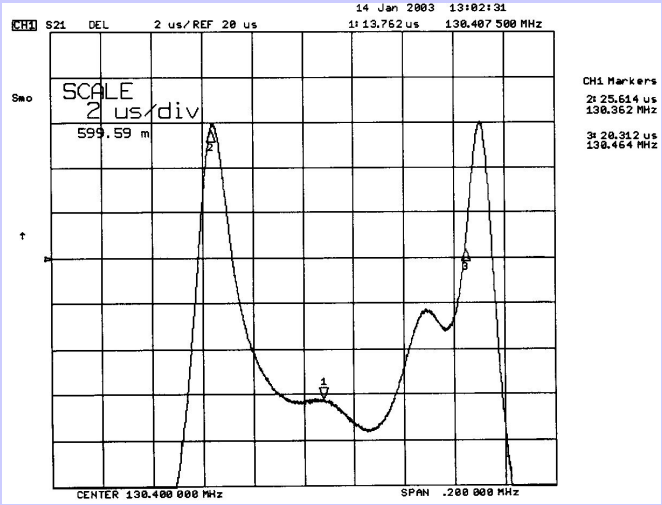
в

Рис.2.4. Измеренные частотные характеристики фильтра ФП-728 на поперечно-связанных резонаторах:
а - |S21| в полосе пропускания; б - ГВЗ в полосе пропускания; в - |S21| в широкой полосе частот.
Частота: F_0= 85,38 МГц. Полоса BW3= 49,6 КГц. Потери: IL= 3,6 дБ. Избирательность UR= 70 дБ

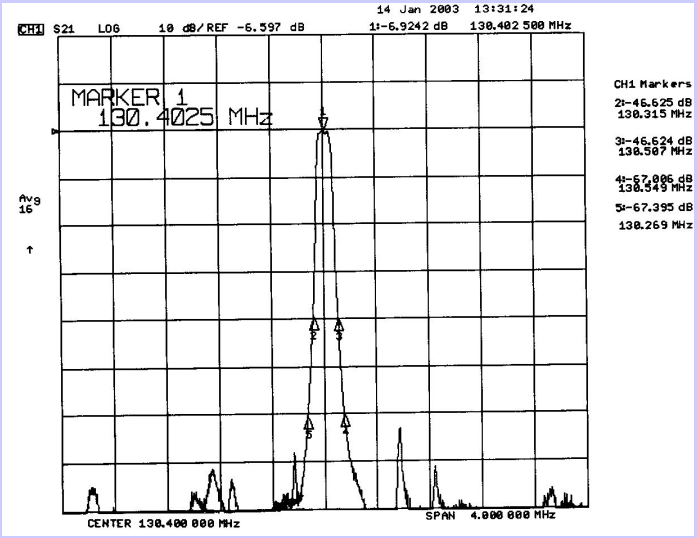
Частотные характеристики фильтра ФП-702 (130,4 / 0,1 МГц) на поперечно-связанных резонаторах



а



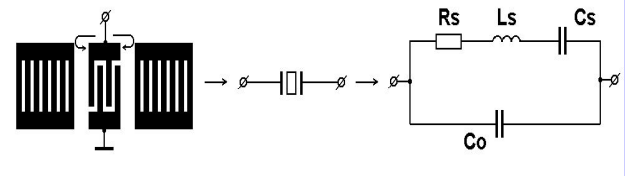
б



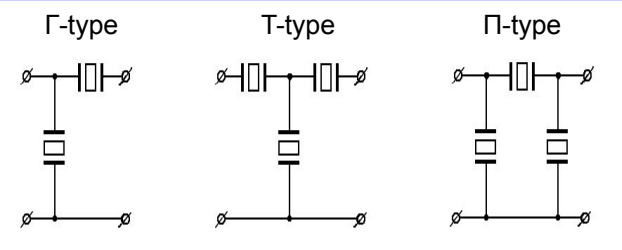
в

Рис.2.5. Измеренные частотные характеристики узкополосного трех-каскадного фильтра ФП-702 на поперечно-связанных резонаторах:
а - |S21| в полосе пропускания; б – ГВЗ в полосе пропускания; в - |S21| в широкой полосе частот.
Частота: F_0= 130,413 МГц. Полоса BW3= 102 КГц. Потери: IL= 6,6 дБ. Избирательность UR= 70 дБ

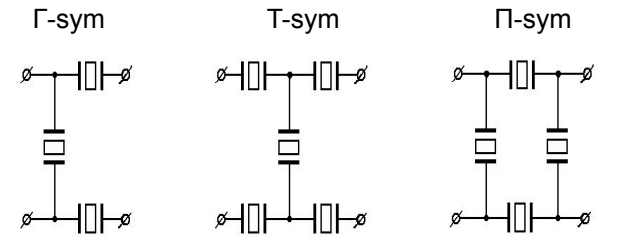
2.2. УЗКО-ПОЛОСНЫЕ ЛЕСТНИЧНЫЕ РЕЗОНАТОРНЫЕ ФИЛЬТРЫ
(Полосы 2-3%. Потери IL=1,3-4,0 дБ)



а

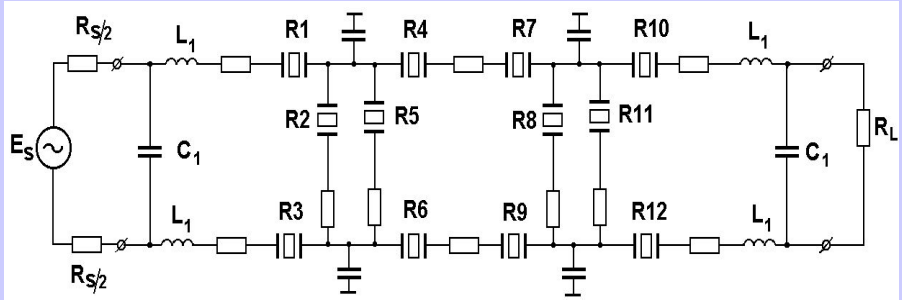


б

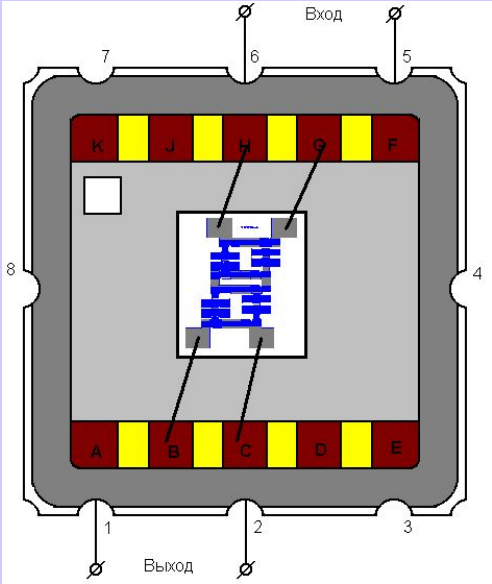


в

Рис.2.6. Элементарные звенья лестничного резонаторного фильтра:
а – одновходовый резонатор и его эквивалентная схема;
б – несимметричные звенья фильтра для аксиальных нагрузок;
в – симметричные звенья фильтра для балансных нагрузок



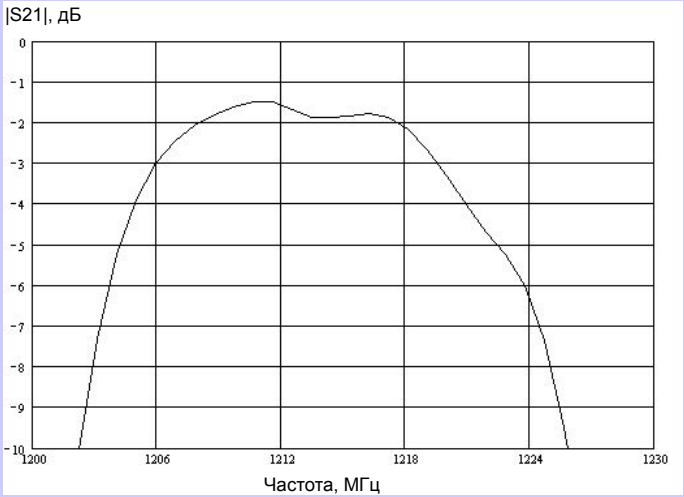
а



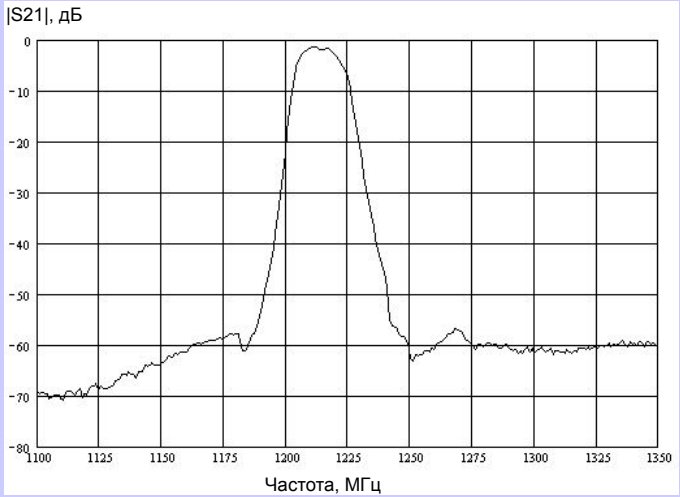
б

Рис.2.7. Лестничный фильтр ФП-645 на 12 одно-входовых резонаторах для балансных нагрузок::
а – схема с учетом паразитных эффектов на СВЧ;
б – сборка фильтра в корпусе SMD 3.8x3.8 мм

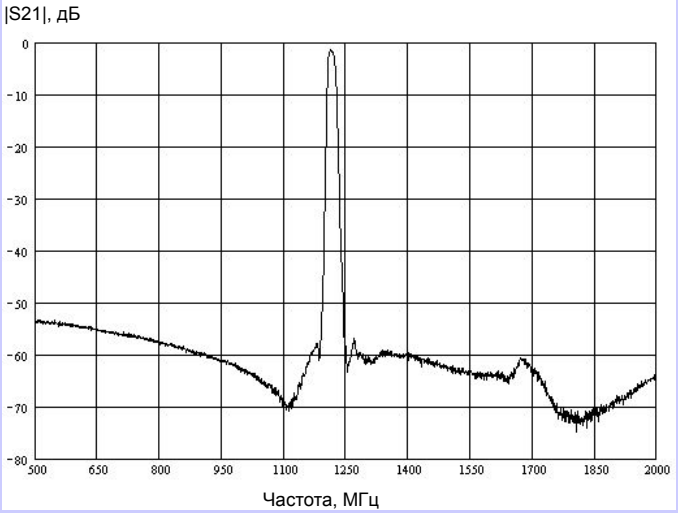
Частотные характеристики лестничного фильтра ФП-645 (1220 / 14 МГц) с балансными нагрузками 200/200 Ом.



а



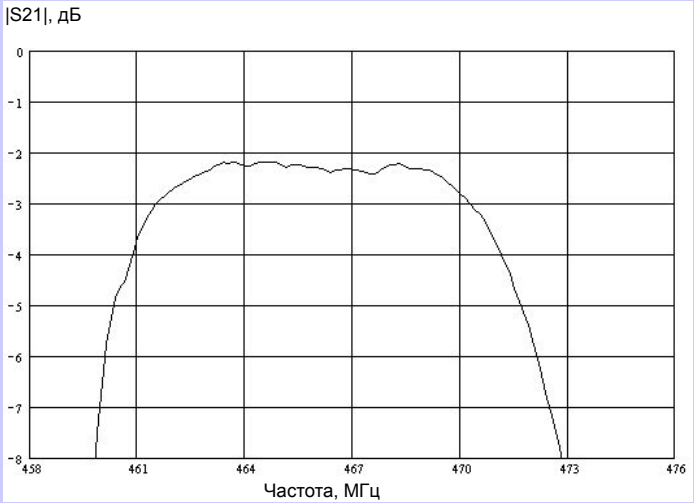
б



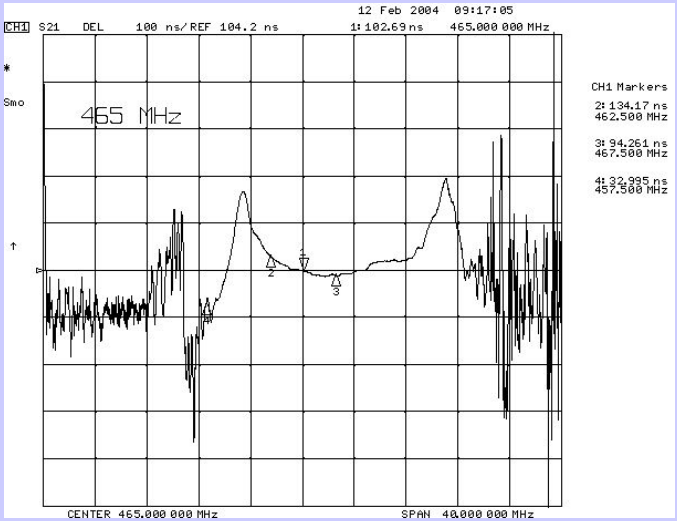
в

Рис.2.8. Измеренные частотные характеристики лестничного 12-ти резонаторного фильтра ФП-645 (1220 / 14 МГц):
а - |S21| в полосе пропускания; б - |S21| в средней полосе пропускания; в - |S21| в широкой полосе частот;
Частота: F_0= 1220 МГц. Полоса BW3= 14 МГц. Потери: IL= 1.5 дБ. Избирательность UR= 54 дБ

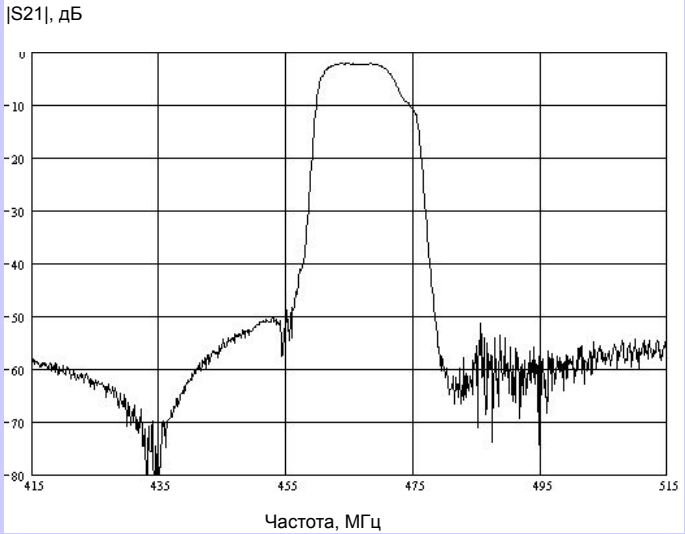
Частотные характеристики лестничного фильтра ФП-637 (465 /9 МГц) с нагрузками 50/50 Ом.



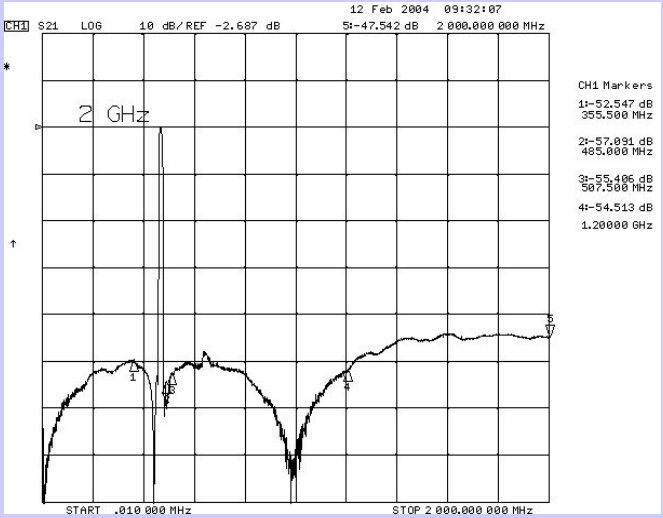
а



б



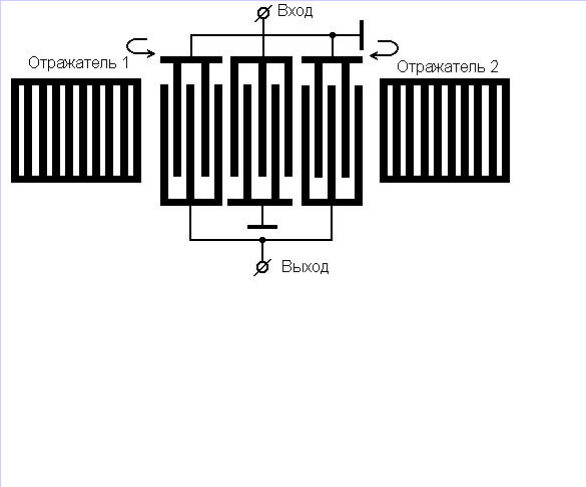
в



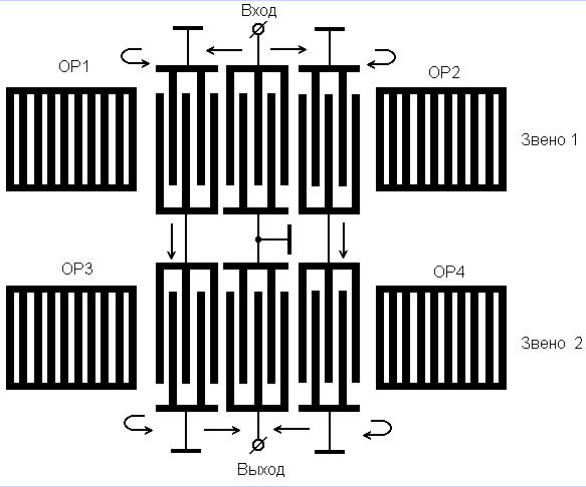
г

Рис.2.9. Измеренные частотные характеристики лестничного резонаторного фильтра ФП-637 (465 /5,0 МГц):
а - |S21| в полосе пропускания; б - GDT в полосе пропускания; в - |S21| в средней полосе пропускания; г –|S21| в широкой полосе частот.
Частота: F_0= 465 МГц. Полоса BW3= 8.8 МГц.Потери: IL= 2.1 дБ. Избирательность UR= 55 дБ

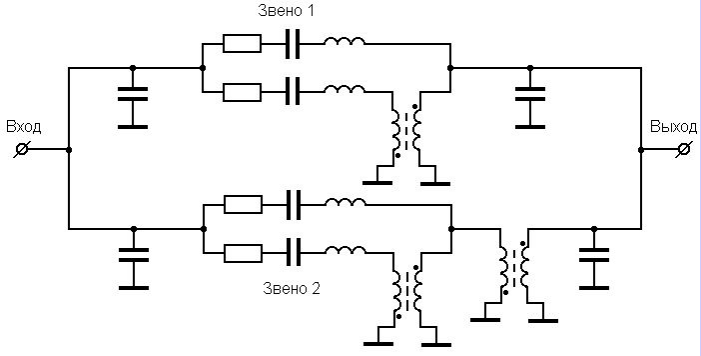
2.3. СРЕДНЕ-ПОЛОСНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ПРОДОЛЬНО-СВЯЗАННЫХ РЕЗОНАТОРАХ
(Вносимые потери IL=2,8-3,5 дБ. Полосы BW3=2-8%)



а



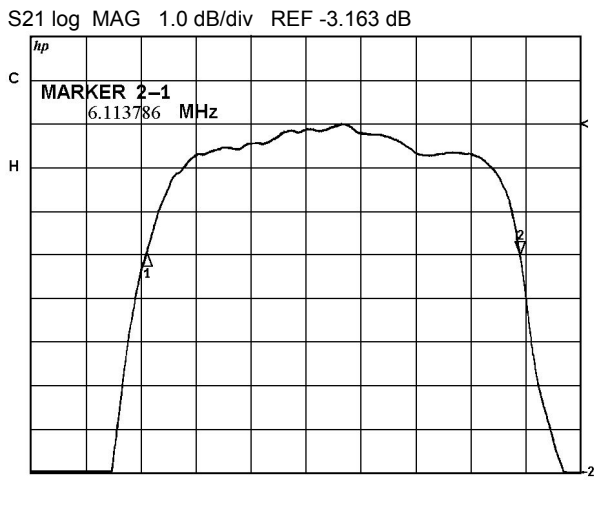
б



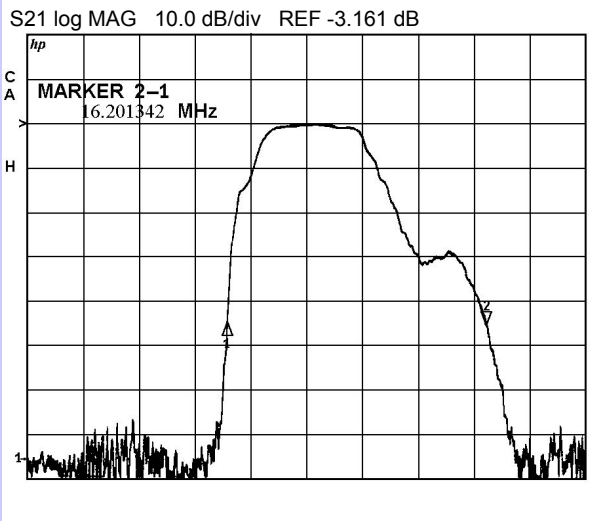
в

Рис. 2.10. Фильтр на продольно-связанных резонаторах:
а – структура однозвенного фильтра; б – структура двух-звенного фильтра;в – эквивалентная схема двух-звенного фильтра

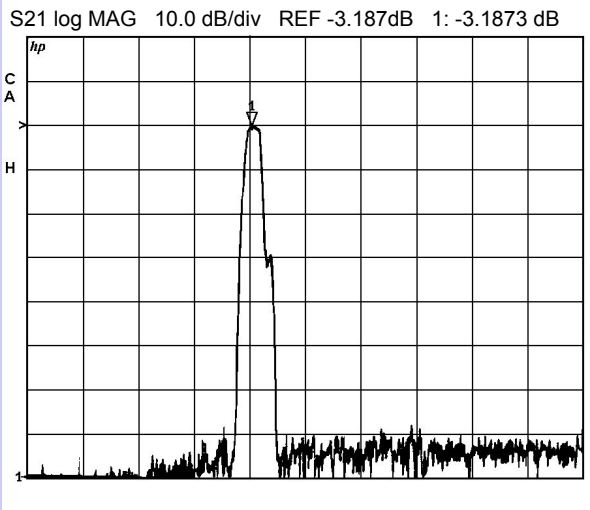
Частотные характеристики фильтра ФП-518 (150,5 / 6,0 МГц) на продольно-связанных резонаторах



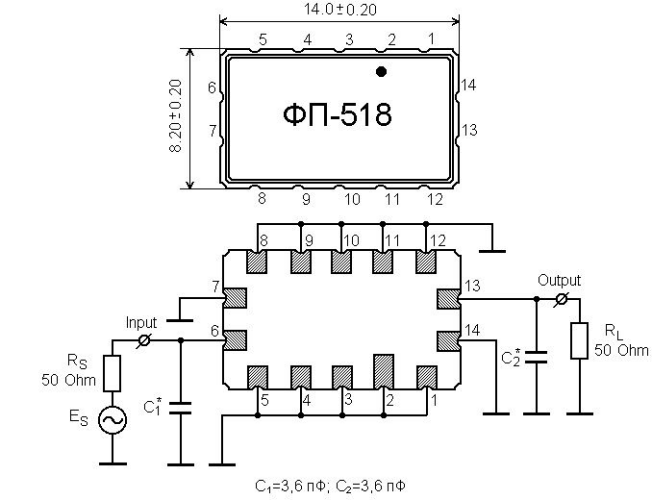
CENTER 0.150500000 GHz а SPAN 0.009000000 GHz



CENTER 0.150500000 GHz б SPAN 0.035000000 GHz



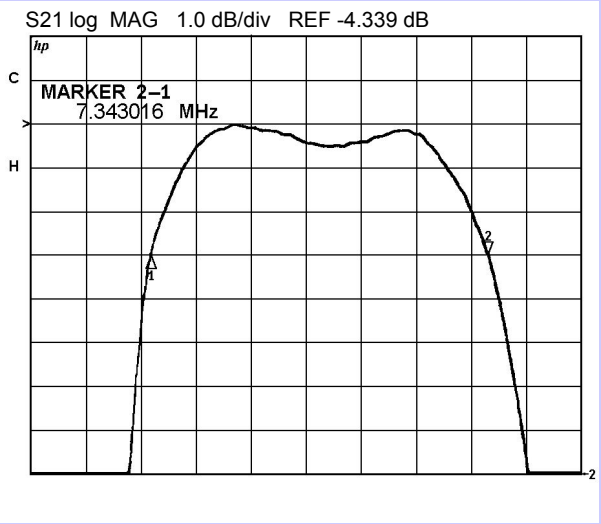
START 0.050000000 GHz В STOP 0.300000000 GHz



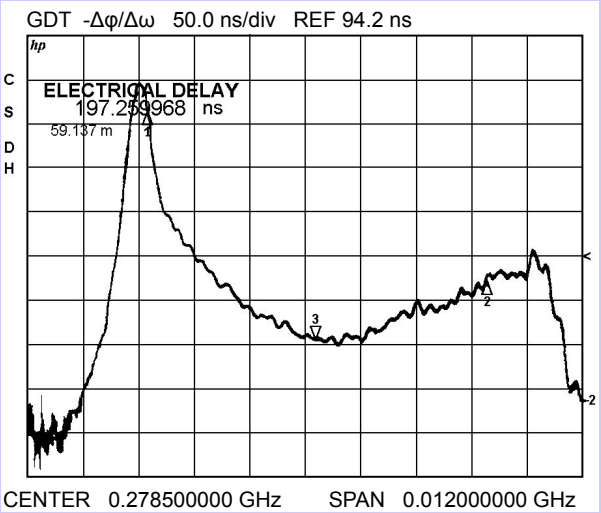
Г

Рис. 2.11. Измеренные частотные характеристики двух-каскадного фильтра ФП-518 на продольно-связанных резонаторах:
а - |S21| в полосе пропускания; б - |S21| в средней полосе частот; в – |S21| в широкой полосе частот;
г - схема включения фильтра ФП-518 в корпусе SMD 14,0x8,2x1,8 мм, IRK14F2-6041A-C, NTK Technical Ceramics, Япония.
Частота: F_0=150,951 МГц. Полоса BW3=6,1 МГц. Потери: IL=3,2 дБ. Избирательность UR=70 дБ.

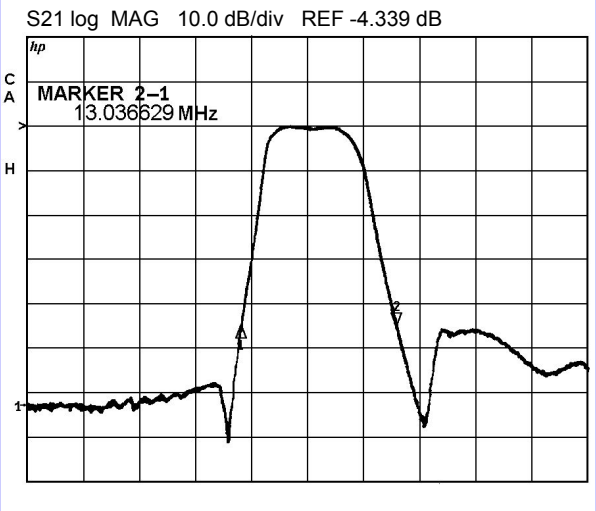
Частотные характеристики фильтра ФП-514 (278,5 / 7,3 МГц) на продольно-связанных резонаторах



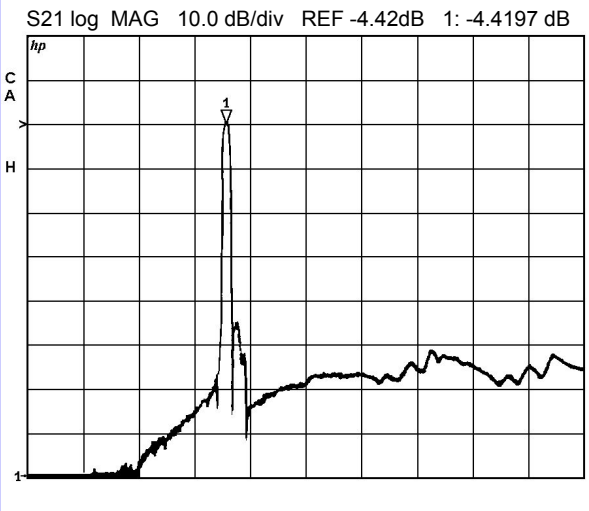
а



б



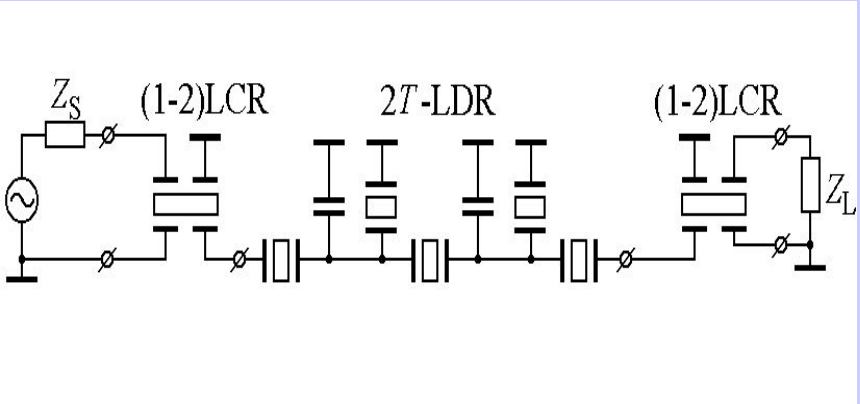
в



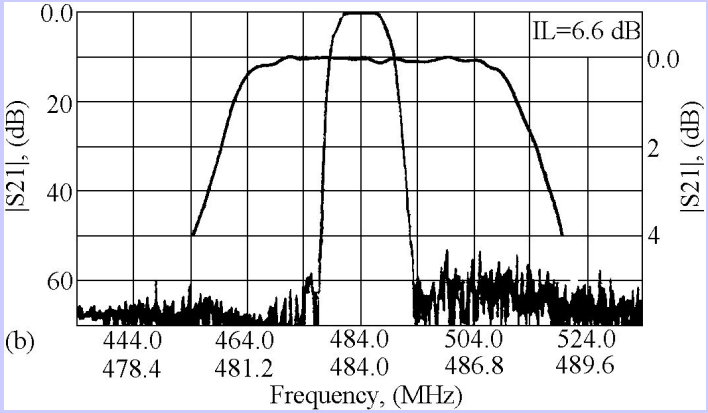
г

Рис.2.12. Измеренные частотные характеристики трех-каскадного фильтра ФП-514 на продольно-связанных резонаторах:
а - |S21| в полосе пропускания; б – ГВЗ в полосе пропускания; в - |S21| в средней полосе частот; г - |S21| в широкой полосе частот.
Частота: F_0=278,76 МГц. Полоса BW3=7,34 МГц. Потери: IL=4,3 дБ. Избирательность UR=45-50 дБ

2.4. ФИЛЬТРЫ С КОМБИНИРОВАНИЕМ ЛЕСТНИЧНЫХ И АКУСТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ ЗВЕНЬЕВ



а



б

Рис.2.13. Фильтр ФП-517 (484 / 5,0 МГц) с комбинированием лестничных и продольно-связанных резонаторных звеньев:
а – эквивалентная схема; б – измеренные частотные характеристики фильтра

Основные параметры резонаторных фильтров на ПАВ разработки ОАО "МНИИРС"

Параметр	Един.	На поперечно-связанных резонаторах	На продольно-связанных резонаторах	Лестничные без акустической связи	Комбинированные
Центральная частота, F_0	МГц	70-870	169-1842	120-1607	108-500
Вносимые потери, IL	дБ	3-8	2,8-3,5	1,3-4,0	3-6
Полоса пропускания, BW3	%	0,05-0,2	2-8	2-3	2-5
Коэффициент прямоугольности АЧХ, $K_П$ (40/3	-	1,8-2,5	2,2-3,5	1,8-2,5	1,8-2,5
Пульсации амплитуды, (п-п)	дБ	0,3-0,8	0,3-0,8	0,2-0,5	0,3-0,5
Параболическое изменение ГВЗ, (п-п)	нсек	200-1500	20-60	30-60	50-70
Гарантированное затухание, UR	дБ	45-70	45-60	40-60	50-70
ТКЧ	ppm/°C	0,5-1,0	30-80	30	30
Примеры реализации		ФП-702 ФП-728	ФП-518 ФП-514	ФП-637 ФП-645	ФП-517

4. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКВИЙ УРОВЕНЬ РАЗРАБОТОК

По достигнутым параметрам изделия на ПАВ, разработанные в ОАО "МНИИРС», практически не уступают лучшим зарубежным образцам и во многих случаях не имеют аналогов в России.

Для реализации высоких параметров и их обеспечения при поставках с приемкой 5 на предприятии разработаны технологические процессы, оснастка, модели, методы проектирования и испытаний, выпущена рабочая КД, ТУ, методика испытаний, аттестованы рабочие места.

По рассматриваемой тематике сотрудниками ОАО "МНИИРС” опубликована одна монография и более 95 статей в советских и российских научно-технических журналах, получено 68 авторских свидетельств СССР.

На оригинальные разработки ОАО "МНИИРС” за последние 10 лет получено 12 российских и 1 международный патент.

Результаты исследований за 1997-2004г. опубликованы в 12 докладах на Международном Симпозиуме по Ультразвуку (IEEE ULTRASONICS SYMPOSIUM) и в 14 докладах на Российских конференциях.

5. ПРОВЕДЕНИЕ РАЗРАБОТОК ДЛЯ СТОРОННИХ ЗАКАЗЧИКОВ

ОАО "МНИИРС” проводит разработки устройств на ПАВ для зарубежных компаний: Nortel, Канада; RF Monolithic, США; Motorola, США; TELEFILTER, Германия; TAI SAW Technology, Тайвань; Korean Electronic Company, Корея, и т.д.

Заказчиками устройств на ПАВ в России являются более 20 компаний. Поставка для российских предприятий производится с приемкой ОТК и ПЗ.