

Узкополосные фильтры на STW с улучшенной избирательностью

Доберштейн С.А.^{1,2}, Веремеев И.В.^{1,2}, Разгоняев В.К.², Завьялов С.А.³

¹ АО «ОНИИП», Омск, Россия

² ИРФЭ ОНЦ СО РАН, Омск, Россия

³ ОмГТУ, Омск, Россия

Введение

Поверхностные поперечные волны (Surface Transverse Waves-STW) на срезе $YX/36^\circ+90^\circ$ кварца, имея высокую скорость распространения акустической волны $V_0 = 5000$ м/с, низкий температурный коэффициент частоты (ТКЧ) $= -0,05 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}^2$, успешно используются в лестничных и двухпреобразовательных узкополосных фильтрах с относительной полосой пропускания $\Delta f/f_0 = 0,1\%$, малыми потерями и 2 дБ и избирательностью 8-30 дБ на основе асинхронных резонаторов с высокой добротностью $Q = 9000$ [1]. Представляет интерес исследовать пути улучшения избирательности узкополосных фильтров на STW без существенного увеличения вносимых потерь (ВП). В работе исследовались резонаторные STW-фильтры трёх типов: лестничные, балансные мостовые и двухпреобразовательные.

[1] . Доберштейн С.А., Веремеев И.В., Разгоняев И.К. Узкополосные фильтры на STW с уменьшенными потерями // Журнал радиоэлектроники. – 2024. - № 10.
<http://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.10.13>

Лестничные фильтры

Лестничные фильтры из Г-образных звеньев построены на одноходовых асинхронных резонаторах, состоящих из встречно-штыревых преобразователей (ВШП), размещенных между двумя отражательными решетками (ОР). Затухание в полосе задерживания в лестничных фильтрах из Г-образных звеньев определяется отношением статических ёмкостей ВШП одноходовых резонаторов в параллельном и последовательных плечах $C_{\text{пар}}/C_{\text{пос}}$. При определённом соотношении $C_{\text{пар}}/C_{\text{пос}}$ за счёт выбора соответствующего числа электродов и апертуры в ВШП параллельного плеча и последовательного плеча в многозвенном лестничном фильтре можно улучшить избирательность без существенного увеличения ВП. Конструктивно-топологическая оптимизация фильтров проводилась с помощью компьютерного моделирования на основе модели Р-матриц с учетом согласования с внешними нагрузками [2].

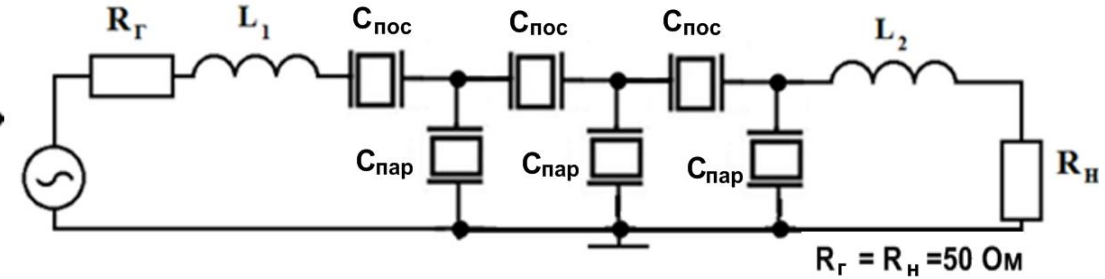
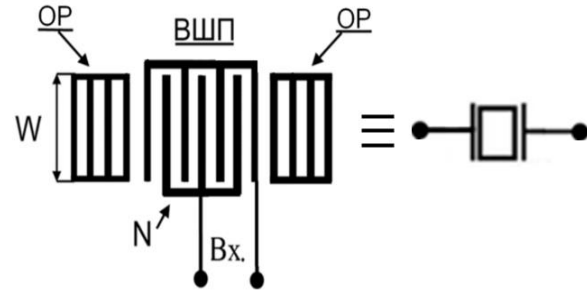
[2] Разгоняев В. К., Доберштейн С. А., Веремеев И.В. Программа расчёта частотных характеристик каскадных многозвенных лестничных фильтров из одноходовых ПАВ-резонаторов «LadSimple_6_LC_S». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624859 (01.11.2024).

Измеренные АЧХ 3Г-звена лестничного фильтра с согласованием при $C_{\text{пар}}/C_{\text{пос}} = 1,0$

Для ВШП:

$$C_{\text{пар}} = C_{\text{пос}} = W \cdot C_0 \cdot N$$

$$C_{\text{пар}}/C_{\text{пос}} = 1$$

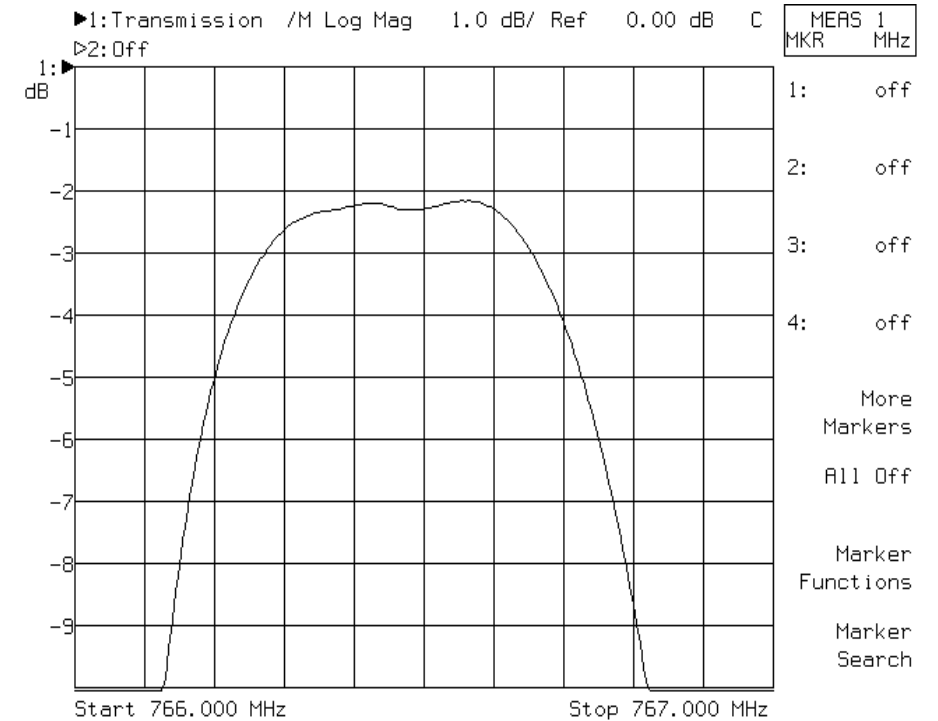
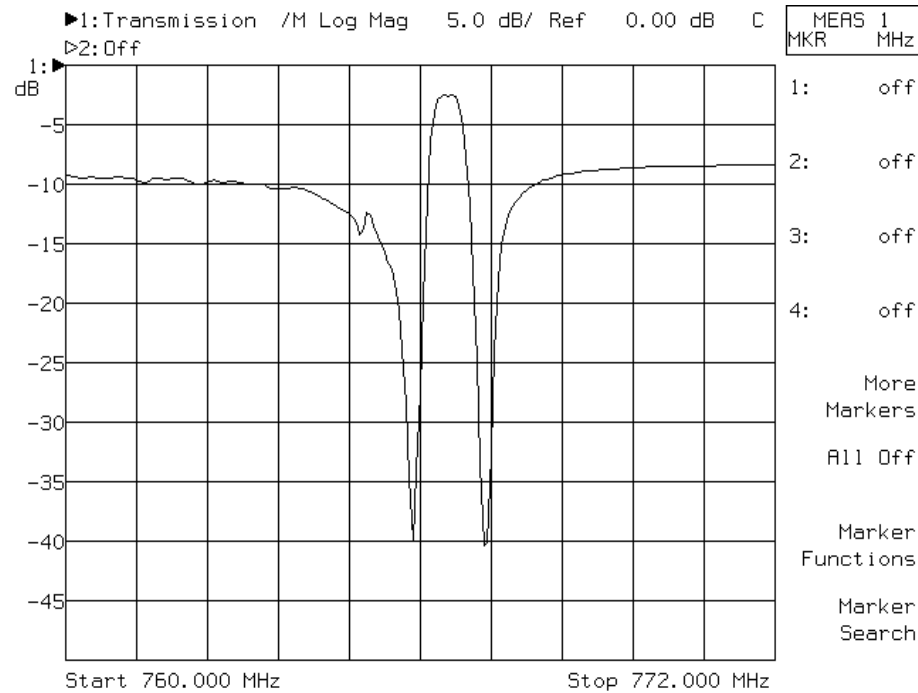


$f_0 = 766,4 \text{ МГц}$

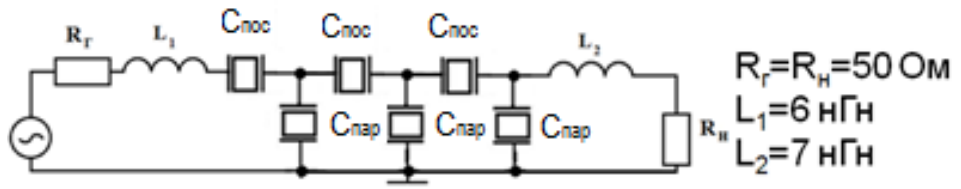
$\Delta f/f_0 = 0,07\%$

ВП = 2,2 дБ

Аз = 8 дБ

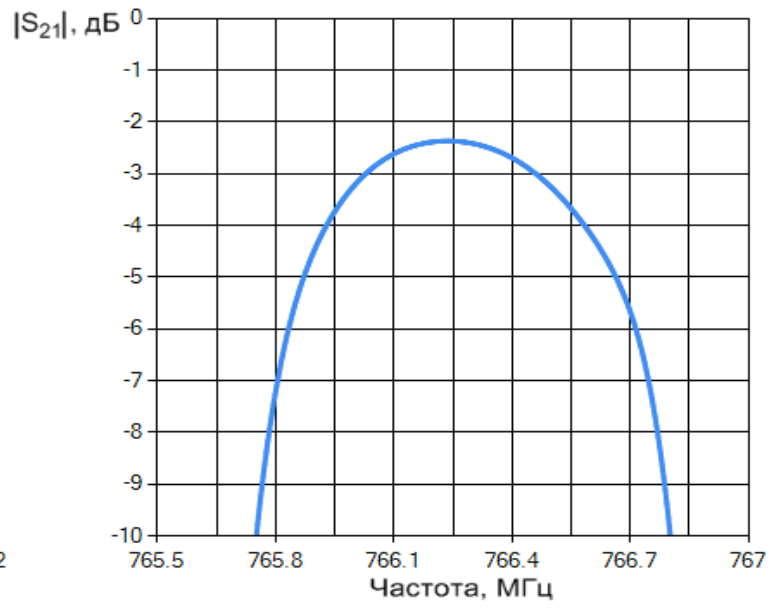
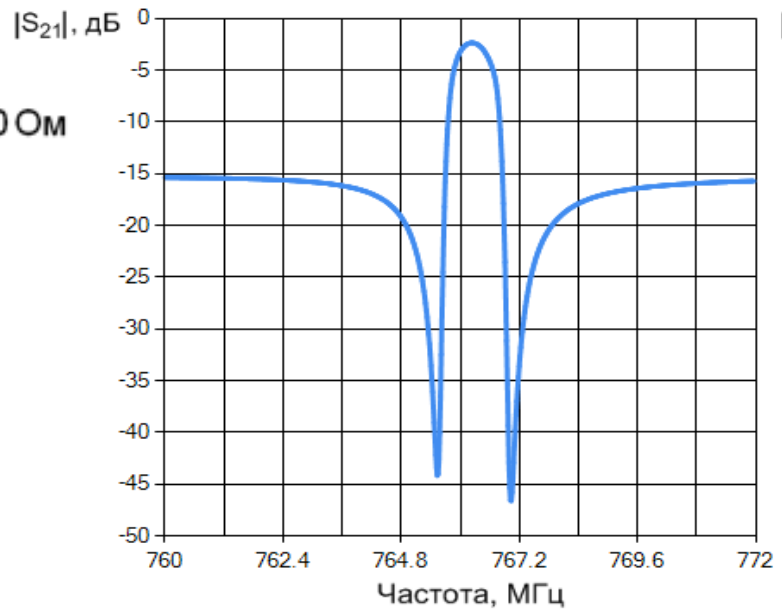


АЧХ 3Г-звена лестничного фильтра с согласованием при $C_{\text{пар}}/C_{\text{пос}} = 1,33$

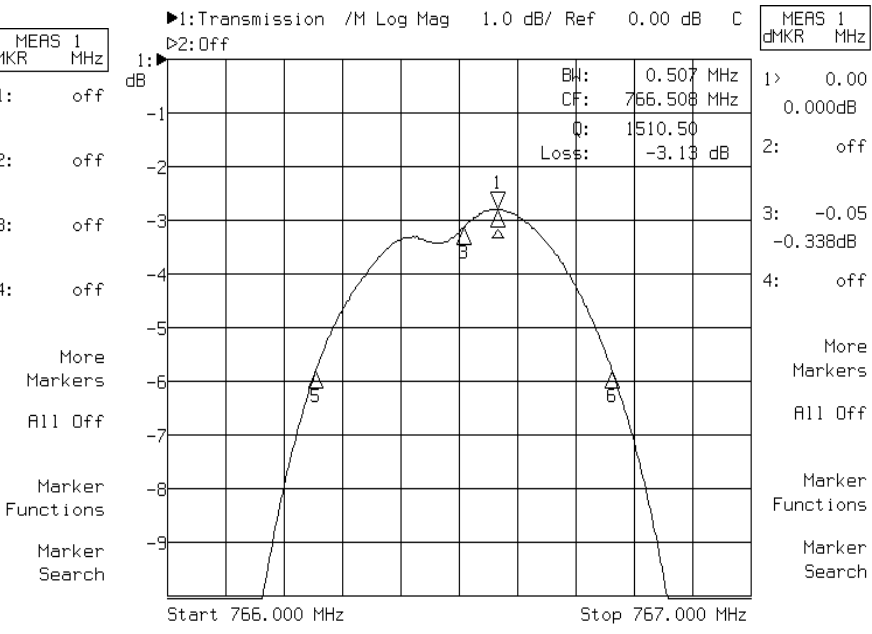
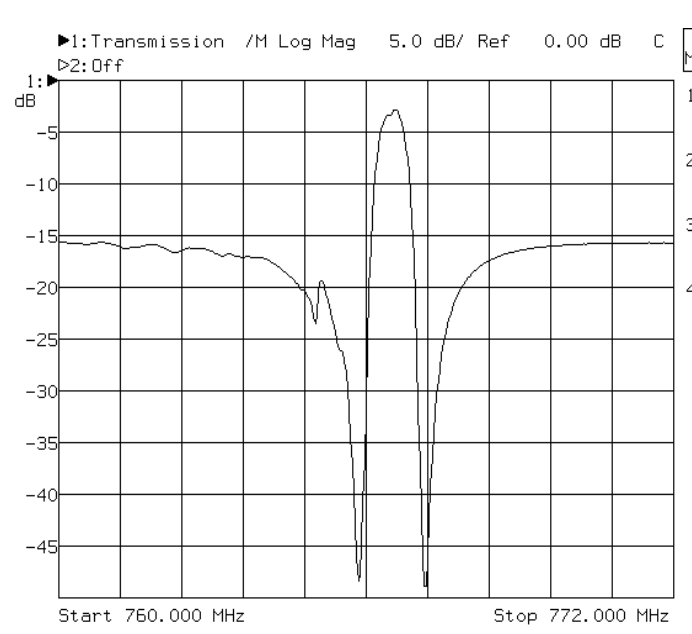


Расчёт

$f_0 = 766,4 \text{ МГц}$
 $\Delta f/f_0 = 0,07\%$
 $\text{ВП} = 2,8 \text{ дБ}$
 $A_3 = 13 \text{ дБ}$

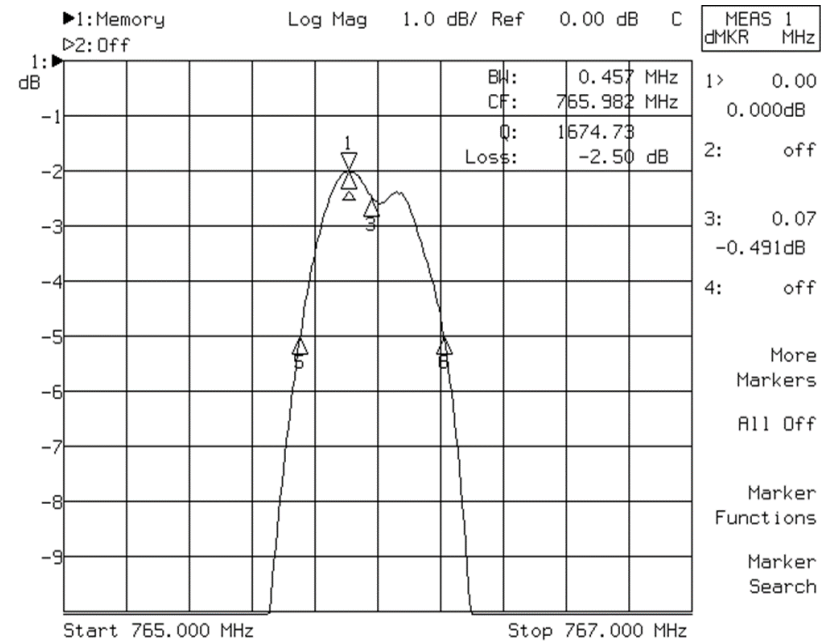
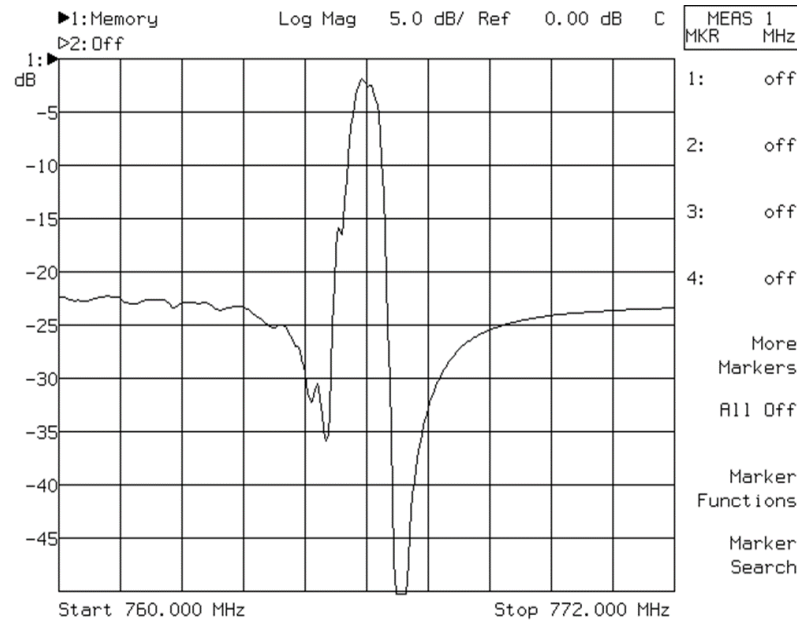
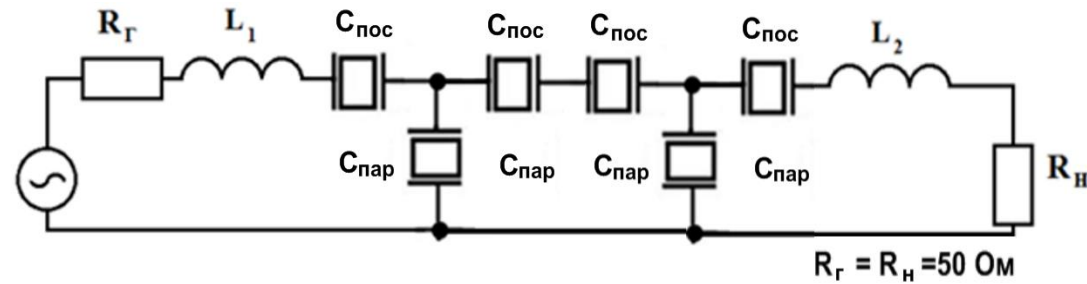


Эксперимент

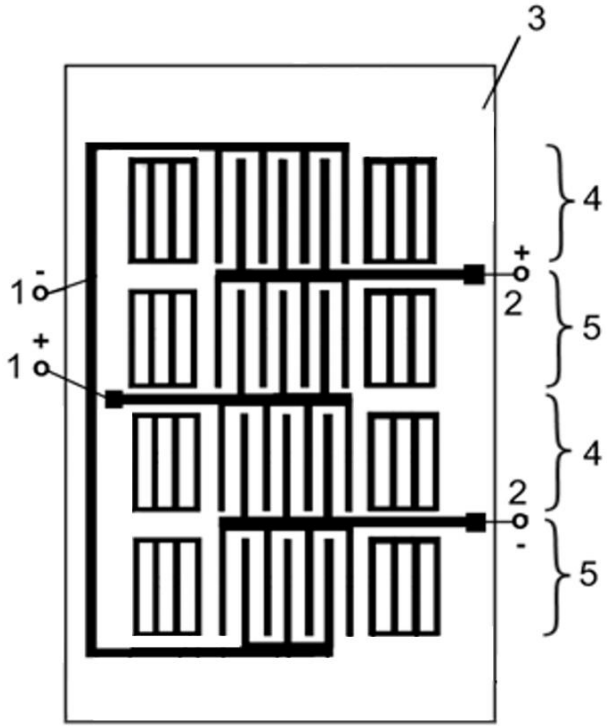


АЧХ 2Т-звена лестничного фильтра с согласованием с согласованием при $C_{\text{пар}}/C_{\text{пос}} = 1,33$

$f_0 = 766 \text{ МГц}$
 $\text{ВП} = 2 \text{ дБ}$
 $\Delta f/f_0 = 0,06\%$
 $A_3 = 20 \text{ дБ}$



АЧХ балансного мостового STW-фильтра на $f_0 = 766,4$ МГц с согласованием

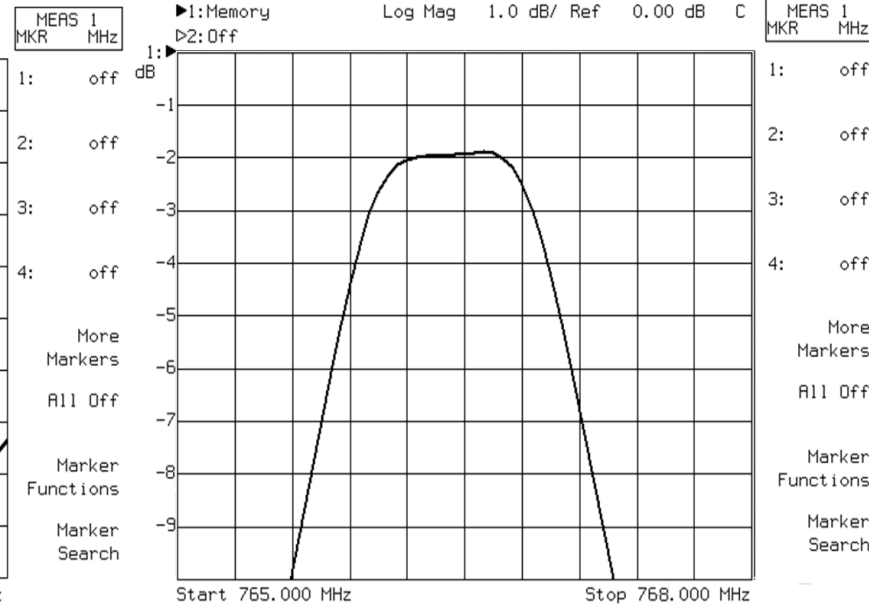
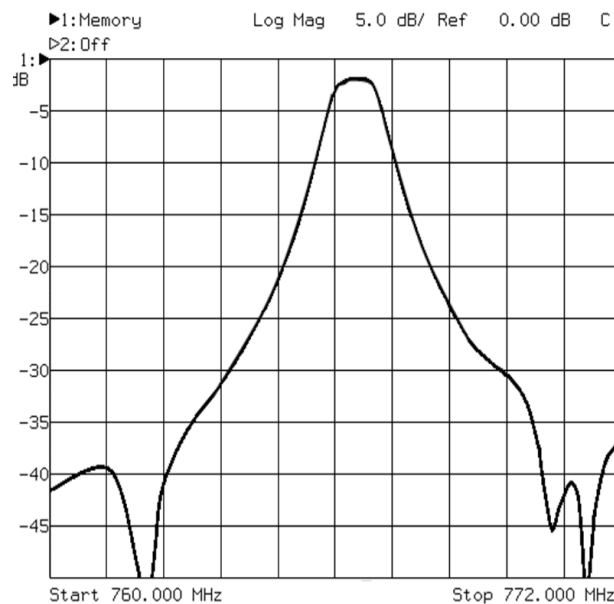
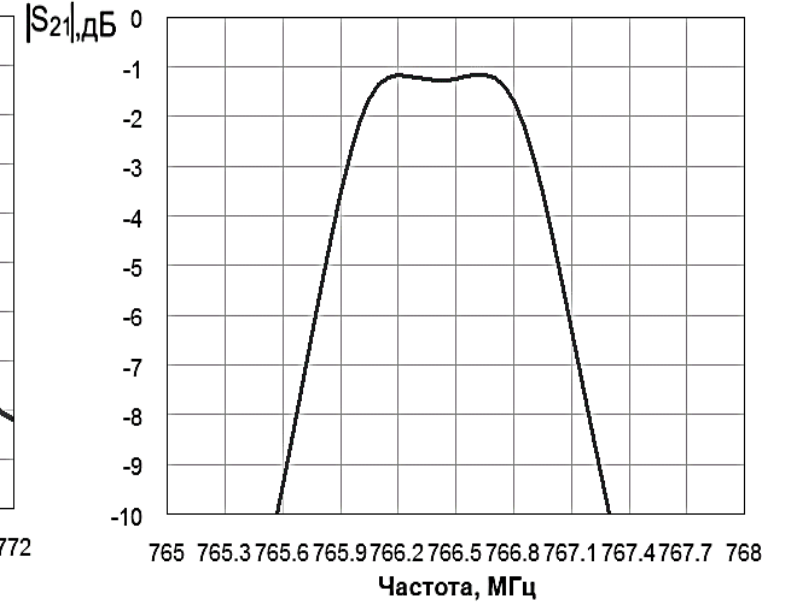
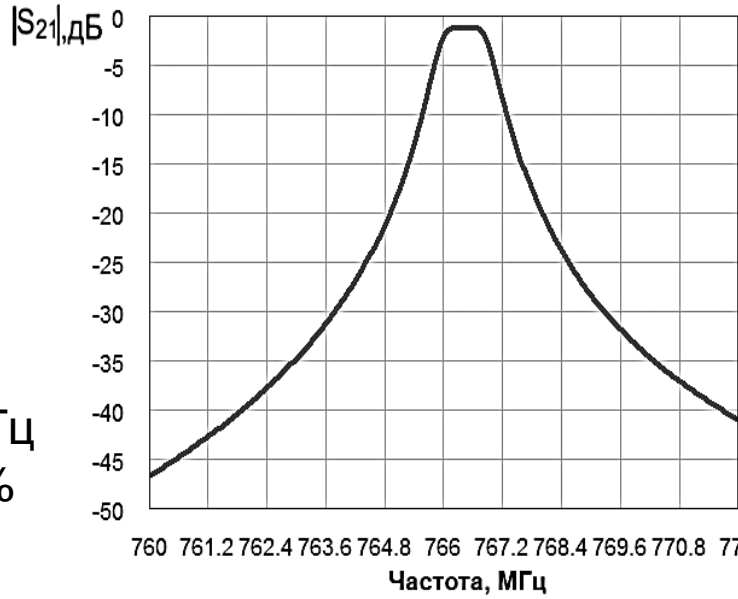


Расчёт

$f_0 = 766,4$ МГц
 $\Delta f/f_0 = 0,14\%$
 ВП = 2 дБ
 $A_z > 35$ дБ

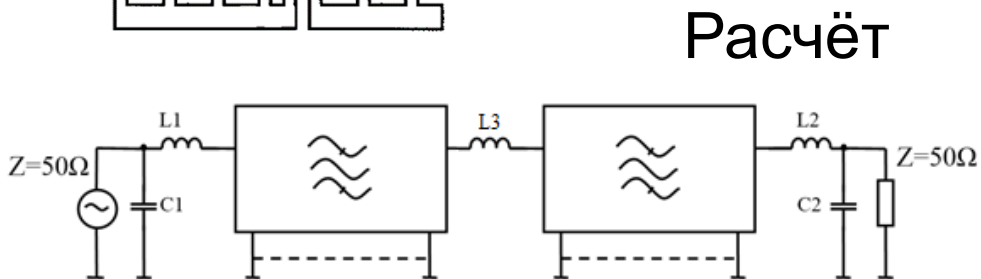
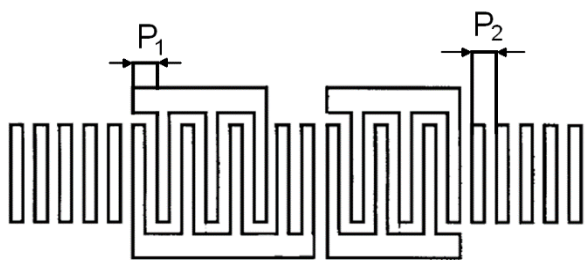
Эксперимент

Доберштейн С.А., Веремеев И.В.
 Узкополосный балансный мостовой фильтр на поперечных поверхностных акустических волнах. Патент РФ на полезную модель № 231619, НОЗН 9/64, НОЗН 9/02, НОЗН 9/145, заявл. 09.08.2024, опубл. 04.02.2025, Б.И. № 4.



АЧХ двухпреобразовательного фильтра на STW с LC-согласованием

а $f_0 = 503$ МГц в каскадном включении

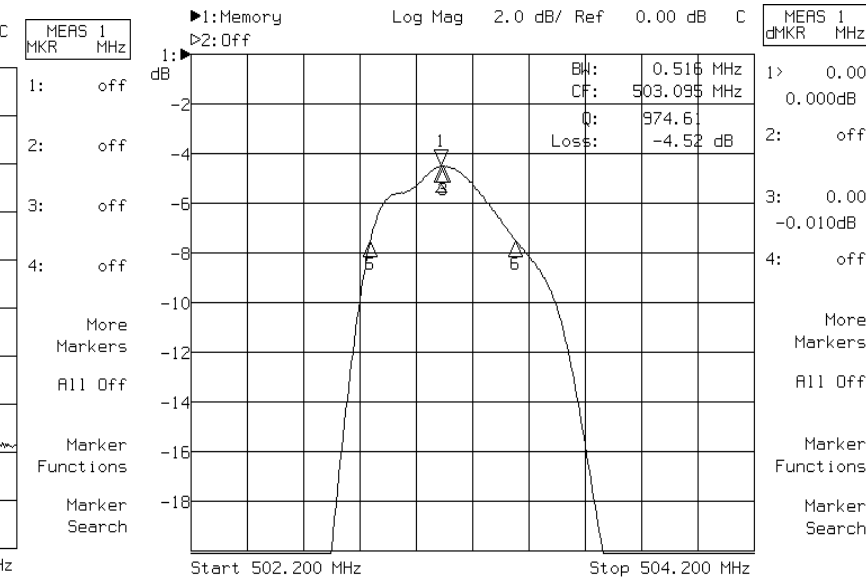
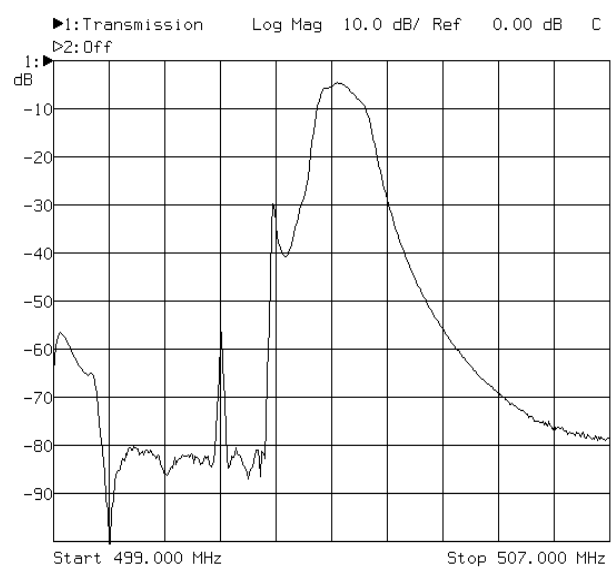
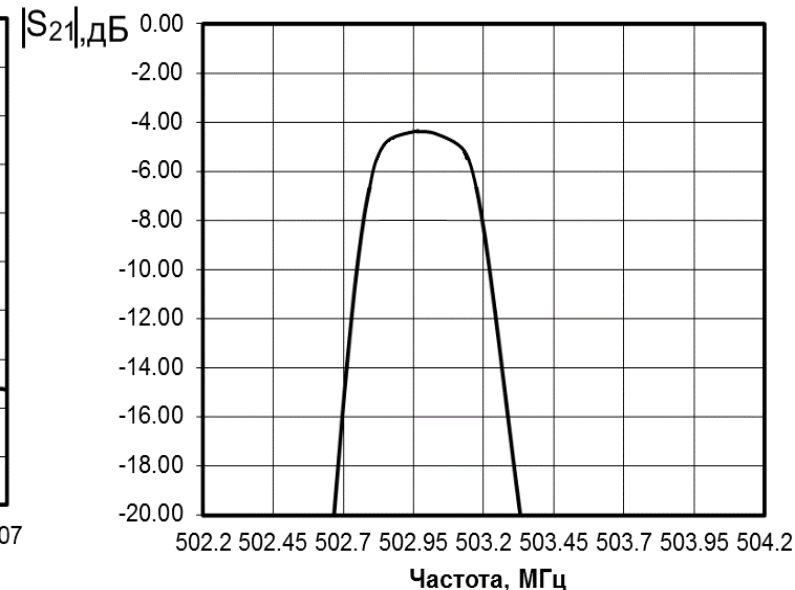
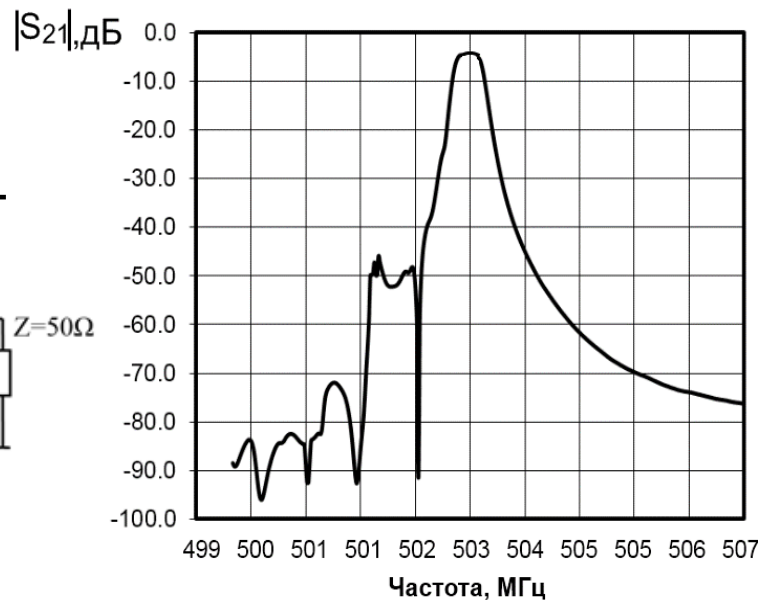


Расчёт

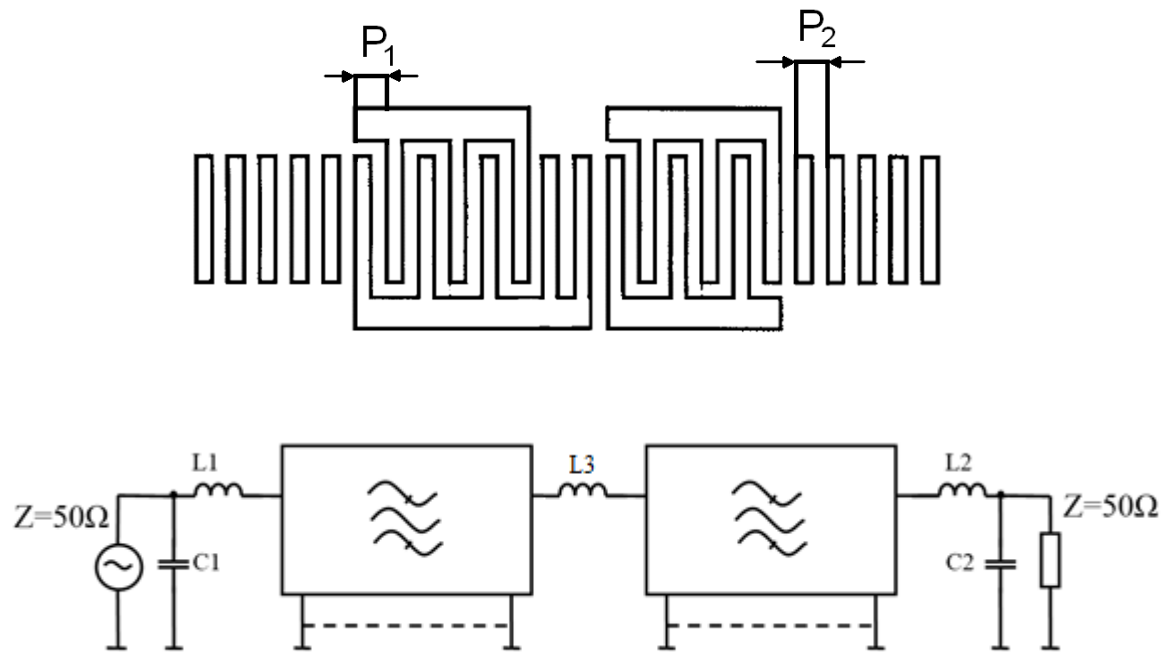
$f_0 = 503$ МГц
 ВП = 4,5 дБ
 $\Delta f/f_0 = 0,1\%$
 $A_z = 50-60$ дБ

Эксперимент

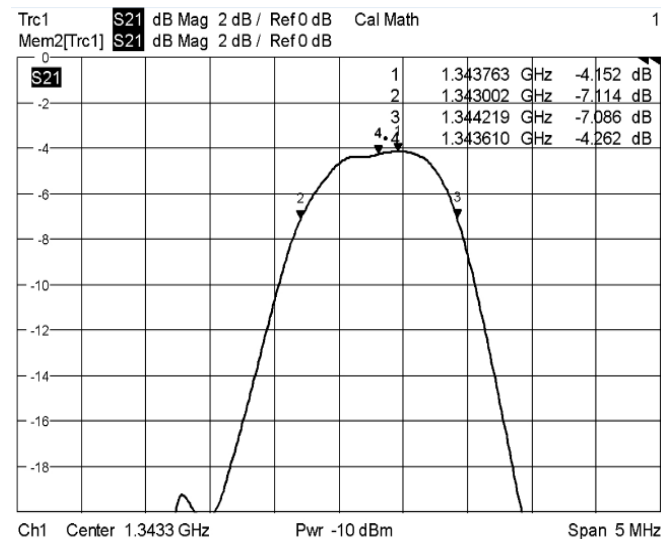
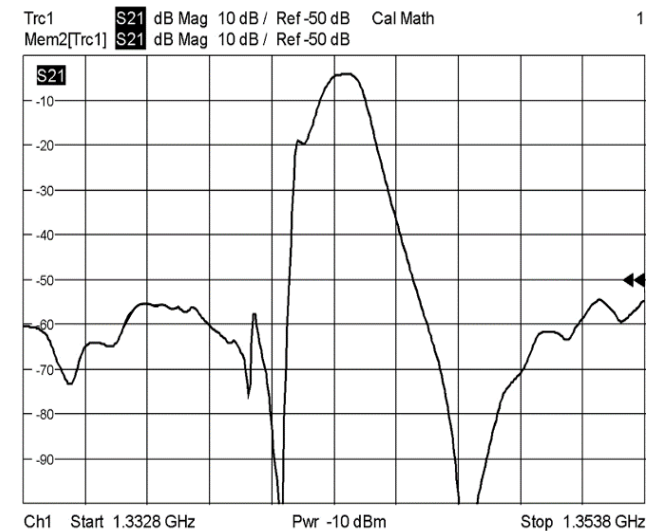
Доберштейн С.А., Веремеев И.В. Узкополосный двухпреобразовательный фильтр на поперечных поверхностных акустических волнах. Патент РФ на полезную модель № 229711, Н03Н 9/64, заявл. 19.06.2024, опубл. 22.10.2024, Б.И. № 30.



АЧХ двухпреобразовательного STW-фильтра с согласованием $f_0=1344$ МГц в каскадном включении



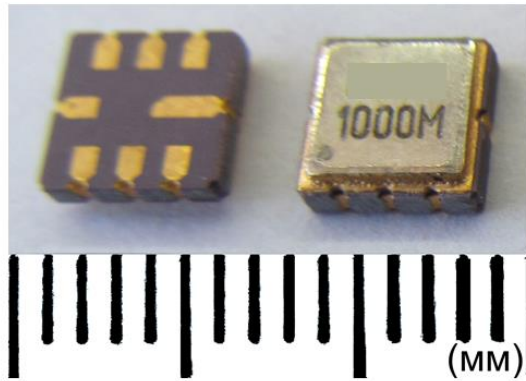
$f_0 = 1344$ МГц
 ВП = 4,1 дБ
 $\Delta f/f_0 = 0,09\%$
 $A_3 > 50$ дБ



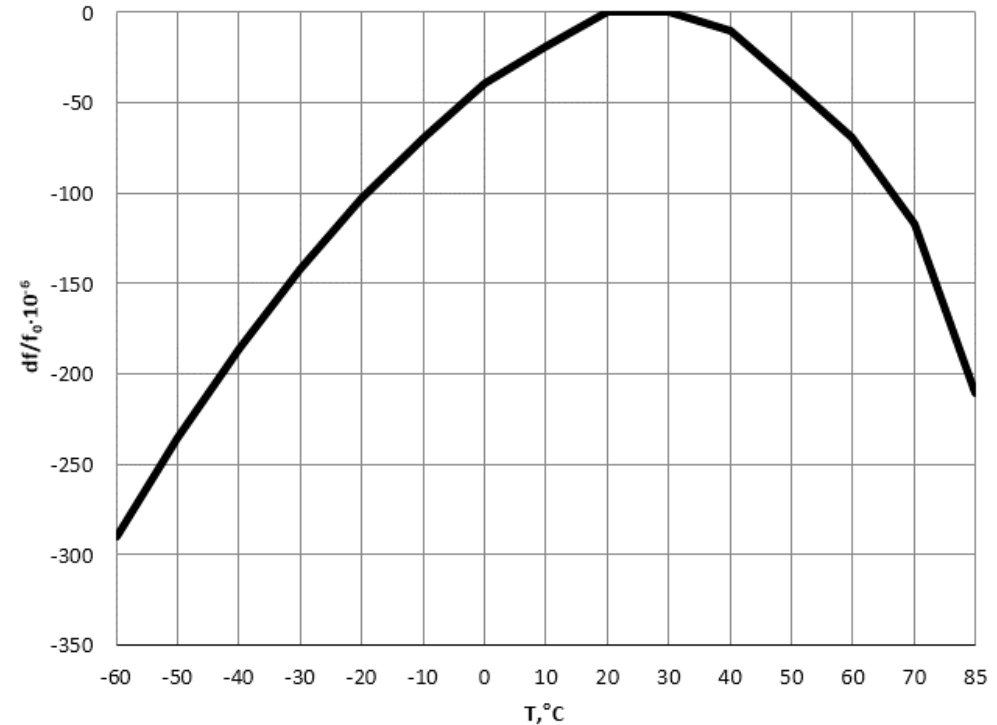
Сравнительные характеристики STW-фильтров мировых производителей

Производители STW-фильтров	Частотный диапазон, МГц	ВП, дБ	$\Delta f/f_0, \%$	Избирательность, дБ	Тип корпуса
GVR Trade SA (Швейцария)	1000-1500	3	0,066	35	5x5x1,2 мм
QORVO (США)	1000	4,5	0,2	20-30	5x5x1,2 мм
FEMTO-ST (Франция)	1017	5	0,017	25	5x5x1,2 мм
Vectron International (США)	800-1227	4	0,11	25-30	5x5x1,2 мм 3,8x3,8x1,2 мм
БУТИС (Россия)	898	6,22	0,16	30	5x5x1,2 мм
АЭК дизайн (Россия)	535-1221	5	0,09-0,12	25-30	5x5x1,2 мм SIP4
АО «ОНИИП» (Россия)	500-1344	2 – 4,5	0,07-0,14	20-60	5x5x1,8 мм

Внешний вид STW-фильтров и температурная характеристика



STW-фильтр в SMD-корпусе
размерами 5x5x1,8 мм



$$\text{ТКЧ} = -0,043 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}^2$$

Заключение

Представлены результаты исследований, полученные при разработке узкополосных STW-фильтров на срезе $YX/36^\circ+90^\circ$ кварца с относительной полосой пропускания $\Delta f/f_0 = 0,07-0,14\%$. Показано, что использование асинхронной топологии, оптимизации с помощью компьютерного моделирования на основе модели Р-матриц, LC-согласования в лестничных, балансных мостовых и каскадных двухпреобразовательных фильтрах возможно при малых вносимых потерях 2-4,5 дБ обеспечить избирательность 20-60 дБ в расширенном частотном диапазоне 503-1344 МГц. Улучшенная избирательность и уменьшенные потери узкополосных STW-фильтров позволяют расширить сферу их применения для аппаратуры частотной стабилизации и частотной фильтрации, например, для оптических телекоммуникационных систем, обеспечить импортозамещение и повысить конкурентоспособность российской электронной компонентной базы.