

УЗКОПОЛОСНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА STW С УМЕНЬШЕННЫМИ ПОТЕРЯМИ

С.А. Доберштейн, И.В. Веремеев, В.К. Разгоняев

АО «ОНИИП», Омск;
Омский научный центр СО РАН
(Институт радиофизики и физической электроники), Омск

Введение

Поверхностные поперечные волны (Surface Transverse Waves - STW) на кварце имеют высокую скорость распространения акустической волны $V_0=5000$ м/с, что обеспечивает ширину электрода и зазора 0,98 – 2,5 мкм встречно-штыревого преобразователя (ВШП) в диапазоне частот 500-1344 МГц. Это преимущество позволяет успешно использовать STW в высокочастотных (ВЧ) асинхронных резонаторах с высокой добротностью 7200-10000 [1] и в узкополосных ВЧ фильтрах с вносимыми потерями 3-7 дБ [2]. Применение асинхронных резонаторов с увеличенной добротностью в фильтровых структурах позволяет уменьшить вносимые потери (ВП) фильтров на STW.

1. Kim C.U., Plessky V.P., Wang W., Grigorievski V.I. High Q-factor STW-Resonators on AT-cut of Quartz // Proc. IEEE Ultrasonics Symposium. 2007. P. 2582-2585

2. Thorvalsson T., Plessky V.P., Muskenhirn S., Joray M., GHz Range STW Resonators and Narrow Band Filters // Proc. IEEE Ultrasonics Symposium. 1994. P. 99-102.

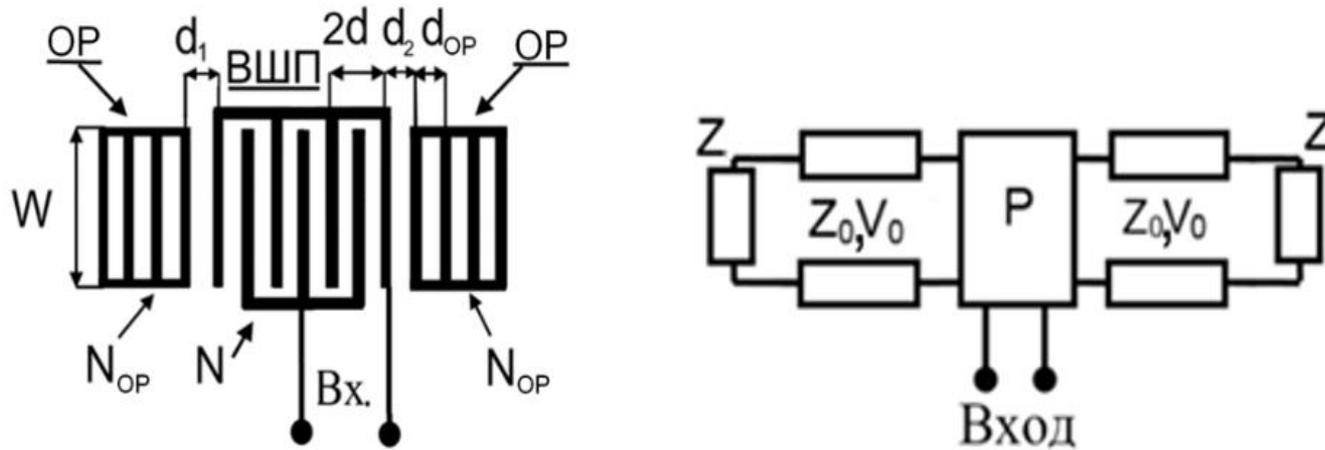
Введение

В работе исследуются STW-фильтры двух типов: лестничные и двухпреобразовательные. В лестничных фильтрах использовались одноходовые асинхронные резонаторы, когда ВШП располагался между двумя отражательными решетками (ОР). ВП таких фильтров определяются согласованием с нагрузками при максимальной добротности входящих в них резонаторов. Представленные в [3,4] расчетные и измеренные частотные характеристики проводимости STW-резонатора на кварце на срезе $YX/36^\circ+90^\circ$ на частоту 765 МГц демонстрируют хорошее совпадение. STW-резонатор показал $Q=9000$. На основе представленных характеристик STW-резонаторов исследовались лестничные фильтры.

3. Доберштейн С.А., Веремеев И.В. Асинхронный резонатор на поперечных поверхностных акустических волнах. Патент РФ на полезную модель № 212600, Н03Н 9/25, Н03Н 9/19, заявл. 09.03.2022, опубл. 01.08.2022, Б.И. № 22.

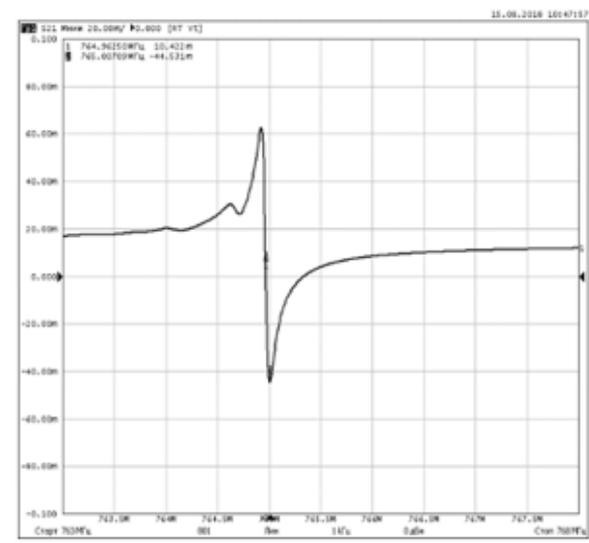
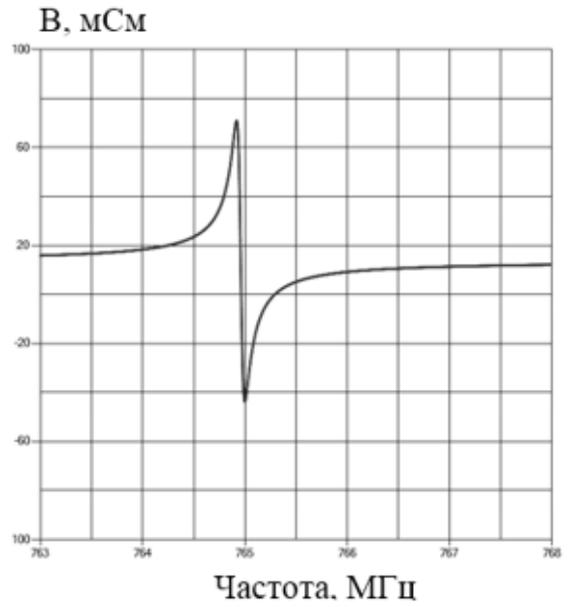
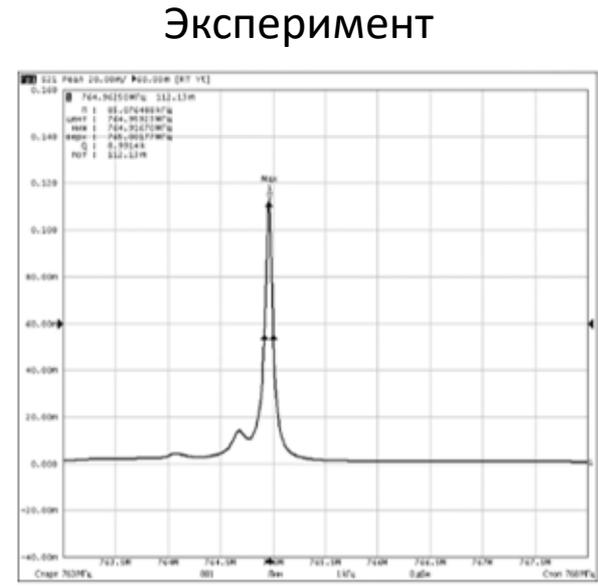
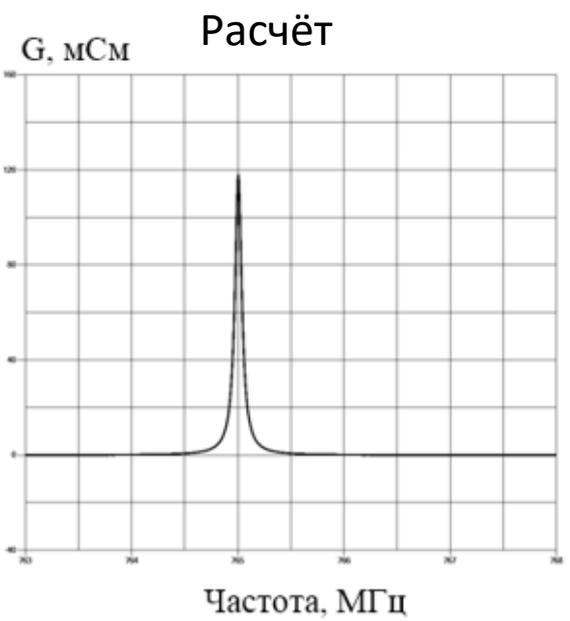
4. Доберштейн С.А., Веремеев И.В., Разгоняев В.К. Асинхронные резонаторы на STW с высокой добротностью и уменьшенными размерами // Радиотехника. 2023. Т. 87. №7. С. 137-144

Топология STW-резонатора и его эквивалентная схема



Здесь P -матрица смешанных параметров ВШП; Z_0 – характеристический импеданс среды между ВШП и ОР, V_0 – скорость STW; $Z = Z_0(1+\Gamma)/(1-\Gamma)$ – эквивалентный импеданс ОР; Γ – коэффициент отражения ОР.

Расчетные и измеренные частотные характеристики проводимости STW-резонатора на частоту 765 МГц



Лестничный STW-фильтр

Конструктивно-топологическая оптимизация фильтров проводилась с помощью компьютерного моделирования с использованием модели эквивалентных схем на основе P-матриц смешанных параметров с учетом согласования с внешними нагрузками.

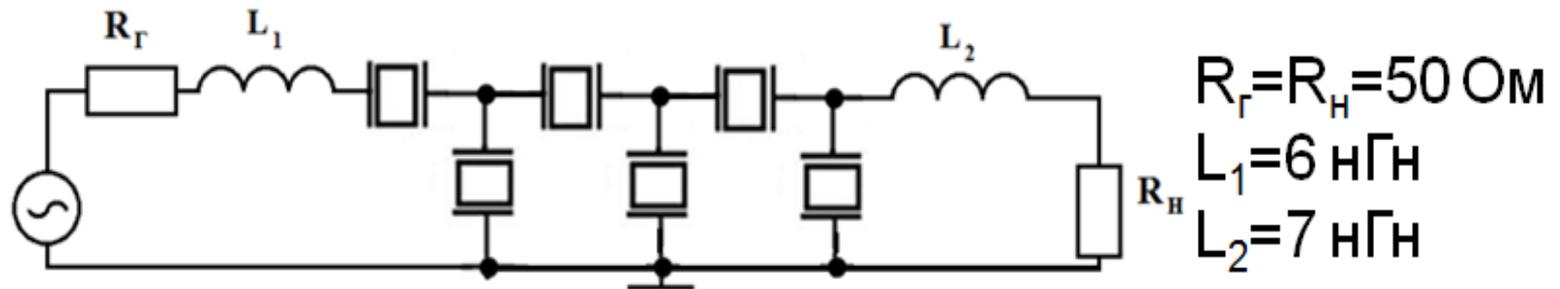
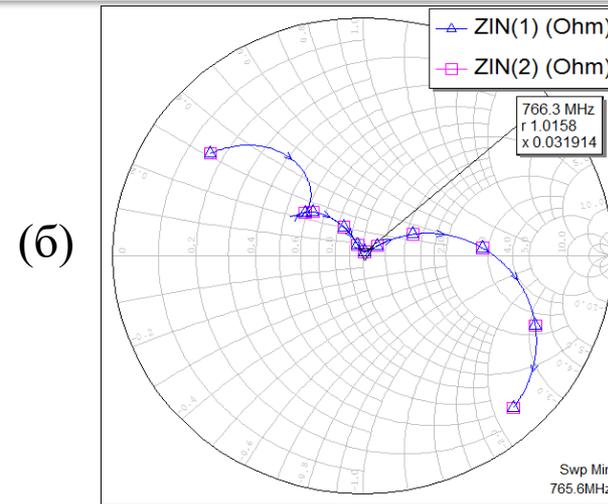
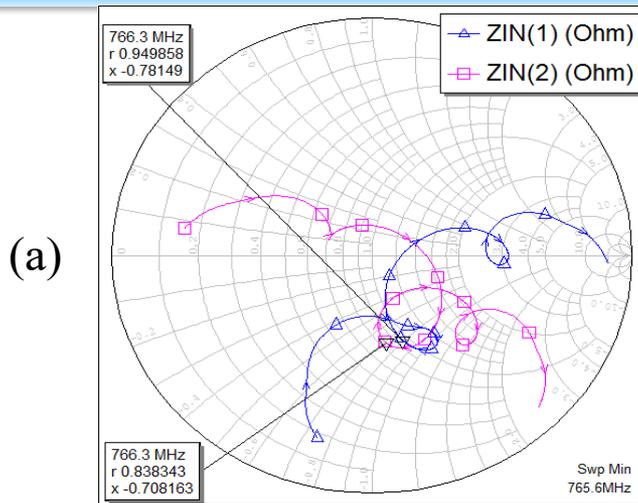
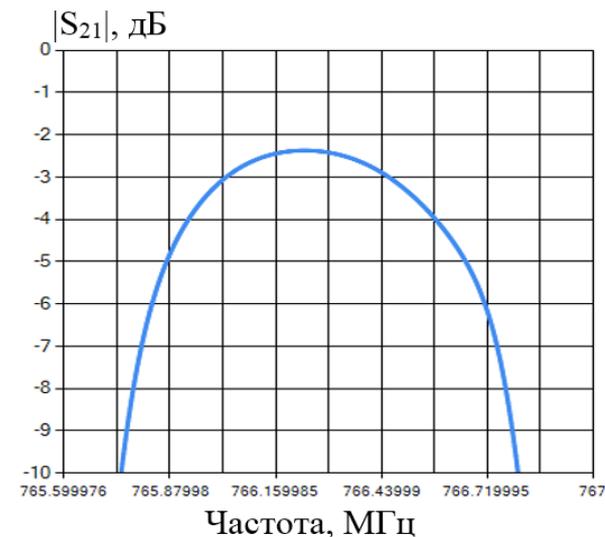
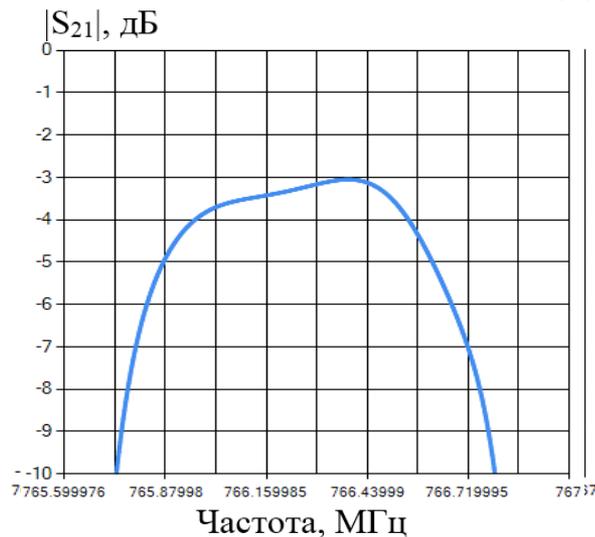


Схема лестничного фильтра из 3Г-звеньев с согласованием

Согласование лестничного STW-фильтра

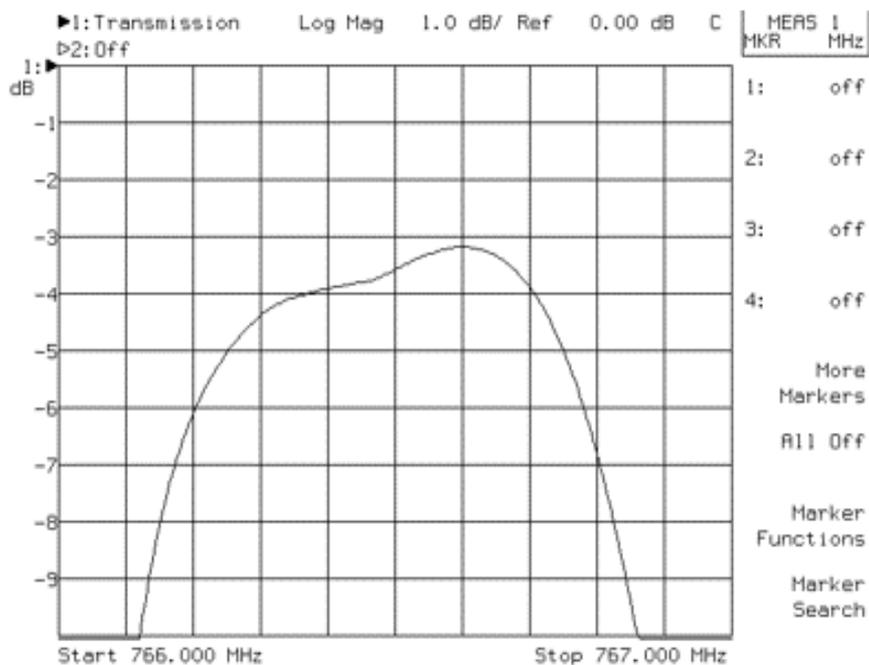


Расчетные частотные характеристики входного и выходного импеданса ЗГ-звена лестничного фильтра без согласования (а) и с согласованием (б)

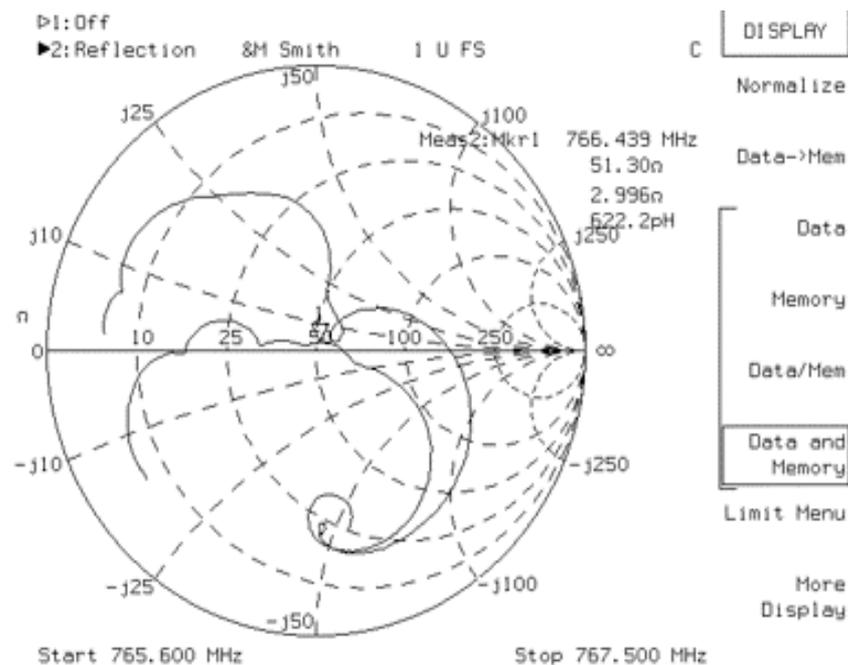


Расчетные АЧХ ЗГ-звена лестничного фильтра без согласования (а) и с согласованием (б)

Измеренные характеристики лестничного STW-фильтра

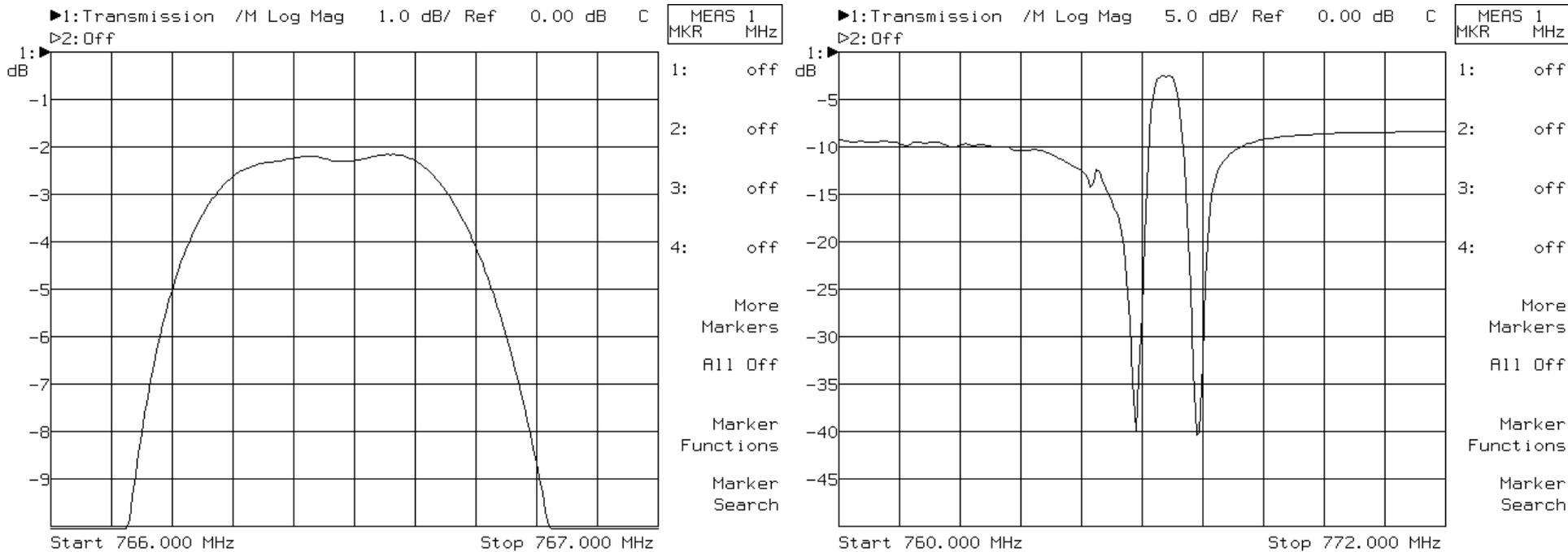


Измеренная АЧХ ЗГ-звена лестничного фильтра без согласования



Измеренные частотные характеристики входного, выходного импеданса ЗГ-звена лестничного фильтра с согласованием

Согласованный лестничный STW-фильтр



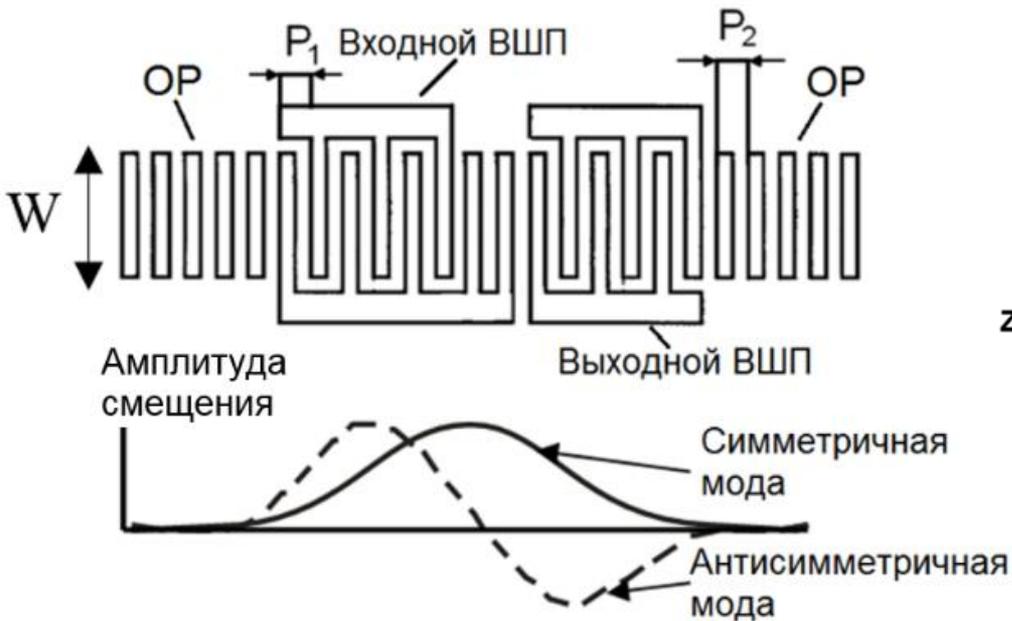
Измеренные АЧХ 3Г-звена лестничного фильтра с согласованием

ВП=2,2 дБ

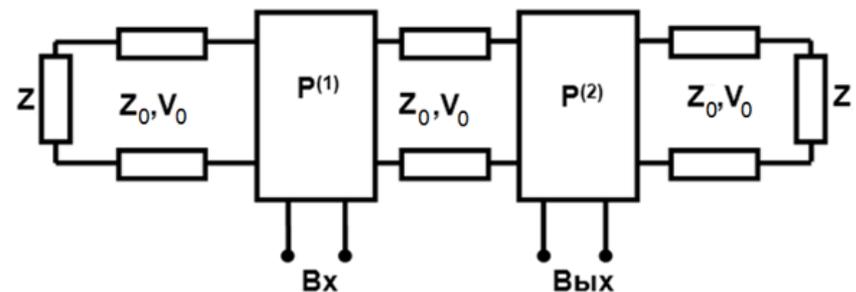
$f/f_0=0,07\%$

A=8 дБ

Двухпреобразовательный DMS STW-фильтр

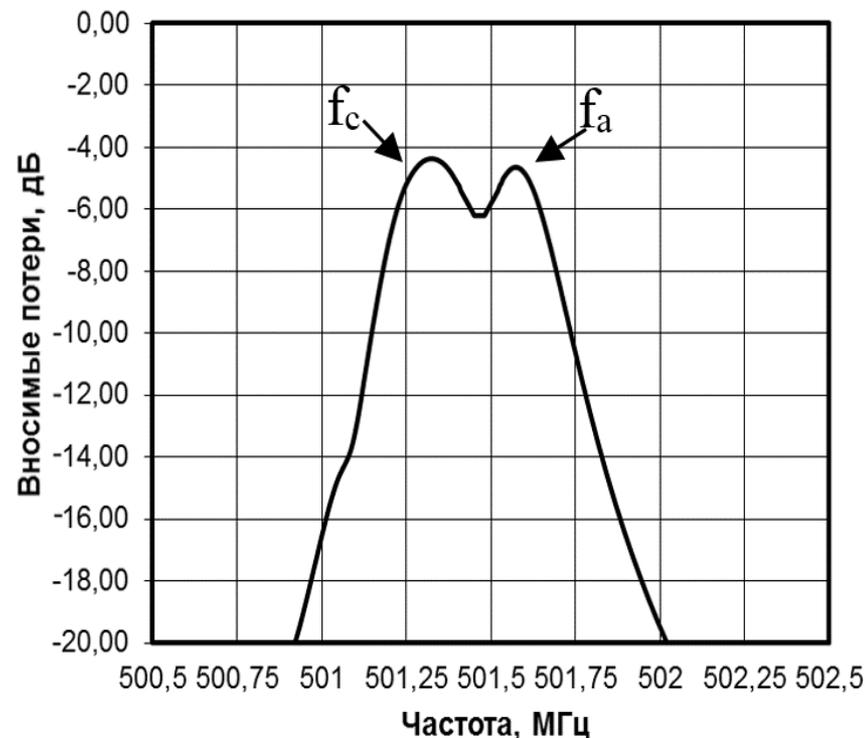
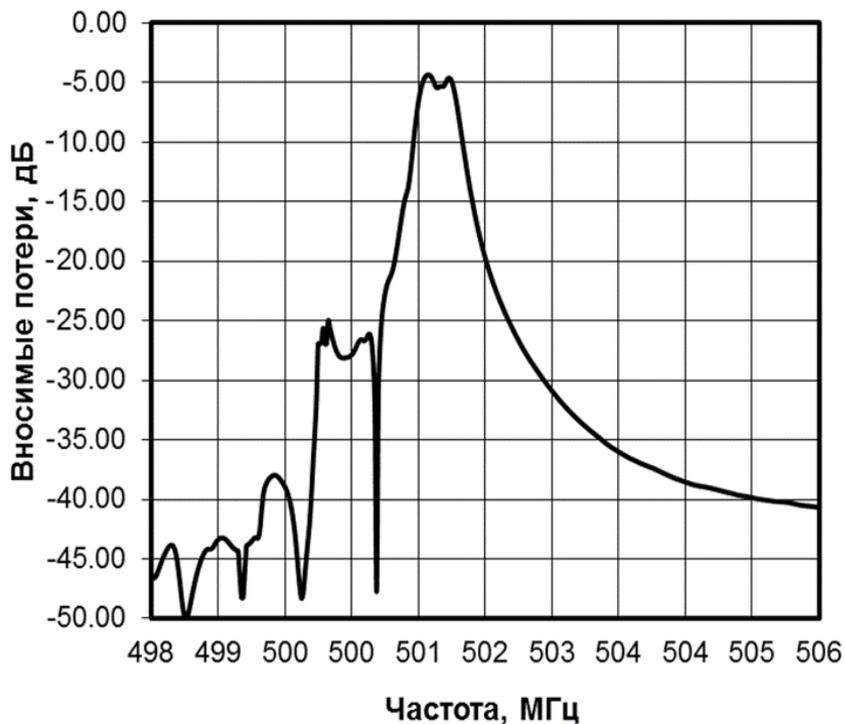


Эквивалентная схема



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>

Расчетные АЧХ двухпреобразовательного STW-фильтра



Расчетные АЧХ двухпреобразовательного STW-фильтра на $f_0=501,45$ МГц в широком (слева) и узком (справа) частотном диапазоне

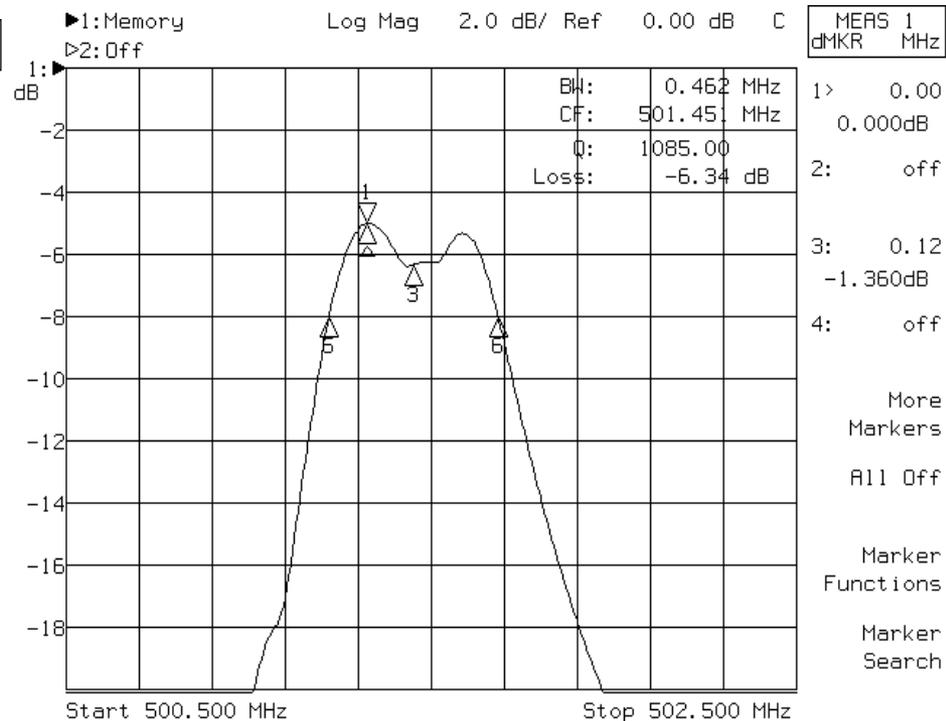
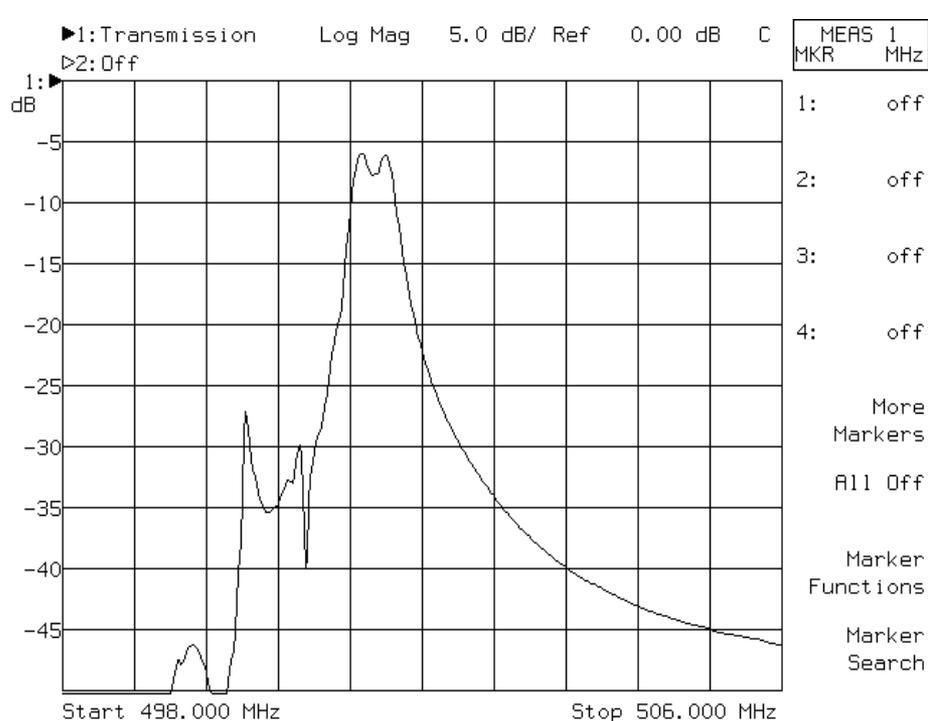
ВП=6,3 дБ

$f/f_0=0,1\%$

A=20-30 дБ

Пульсации 1,5 дБ

Измеренные АЧХ двухпреобразовательного STW-фильтра



Измеренные АЧХ двухпреобразовательного STW-фильтра на $f_0=501,45$ МГц в широком и узком частотном диапазоне

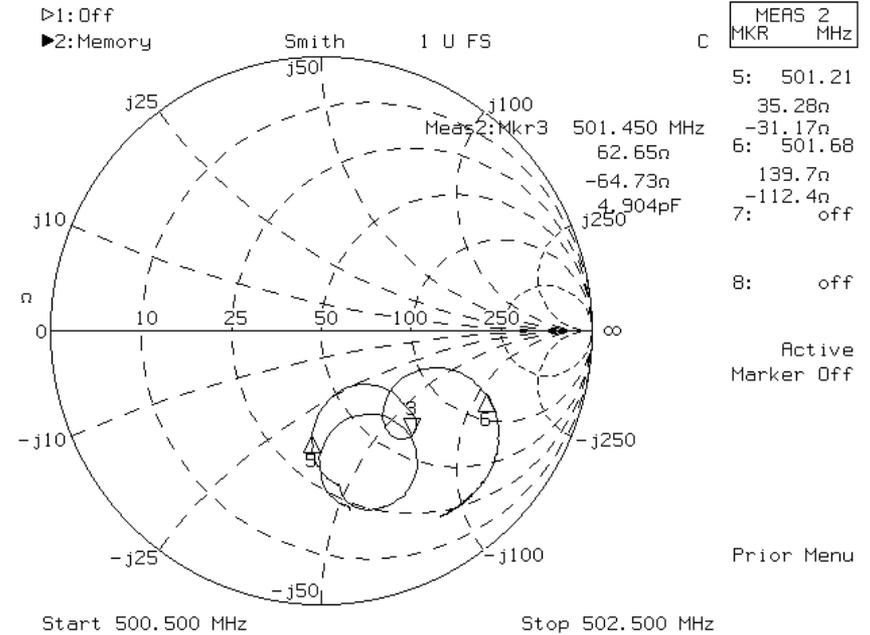
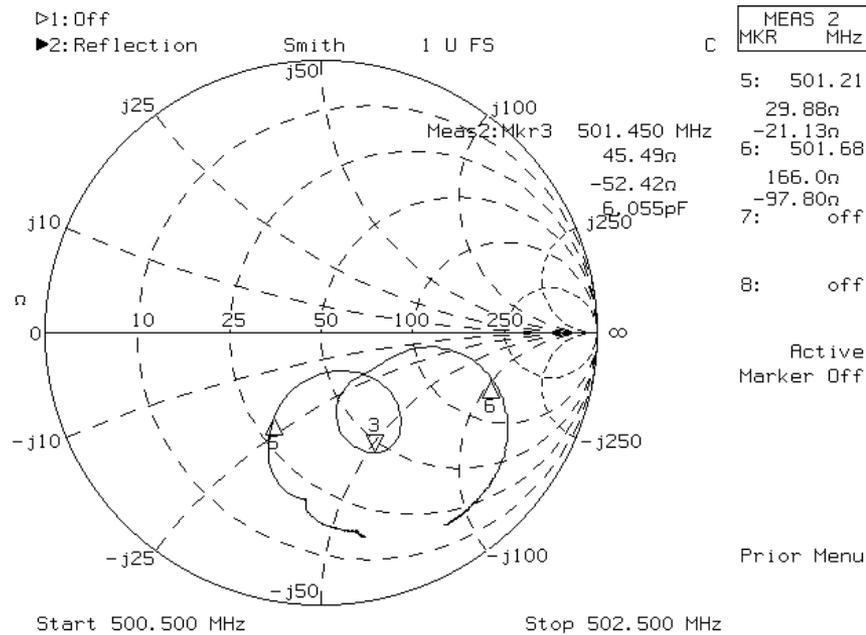
ВП=5,0 дБ

$f/f_0=0,1\%$

A=20-30 дБ

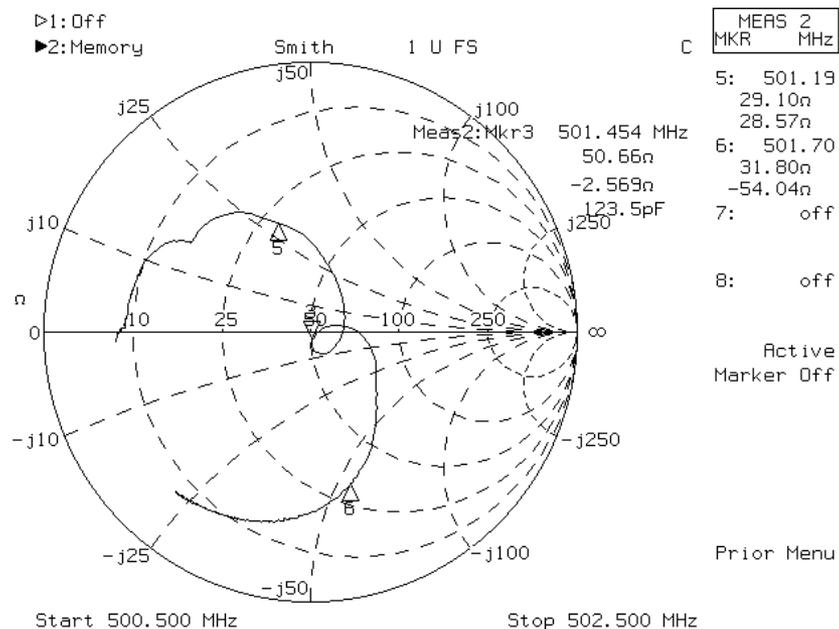
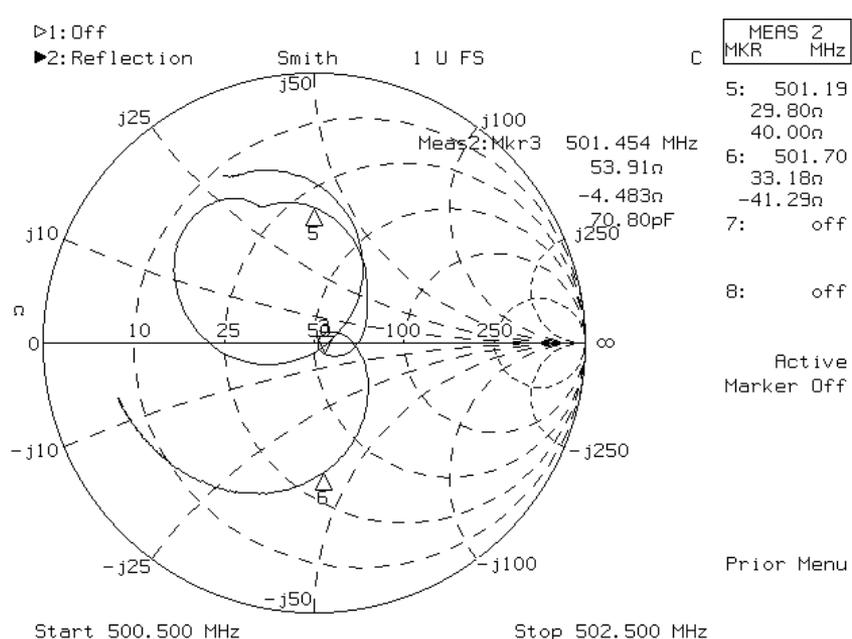
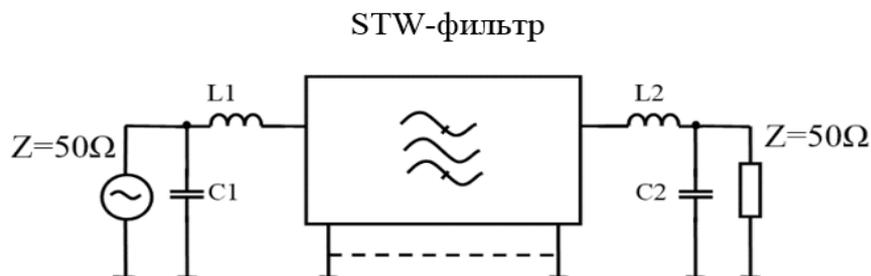
Пульсации 1,5 дБ

DMS STW-фильтр на $f_0=501,45$ МГц



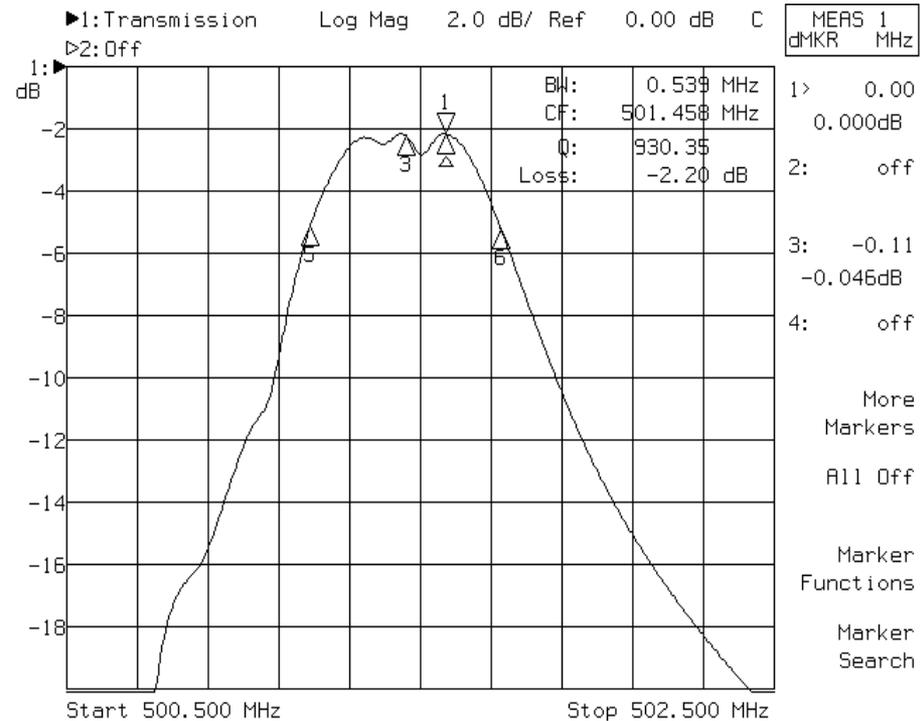
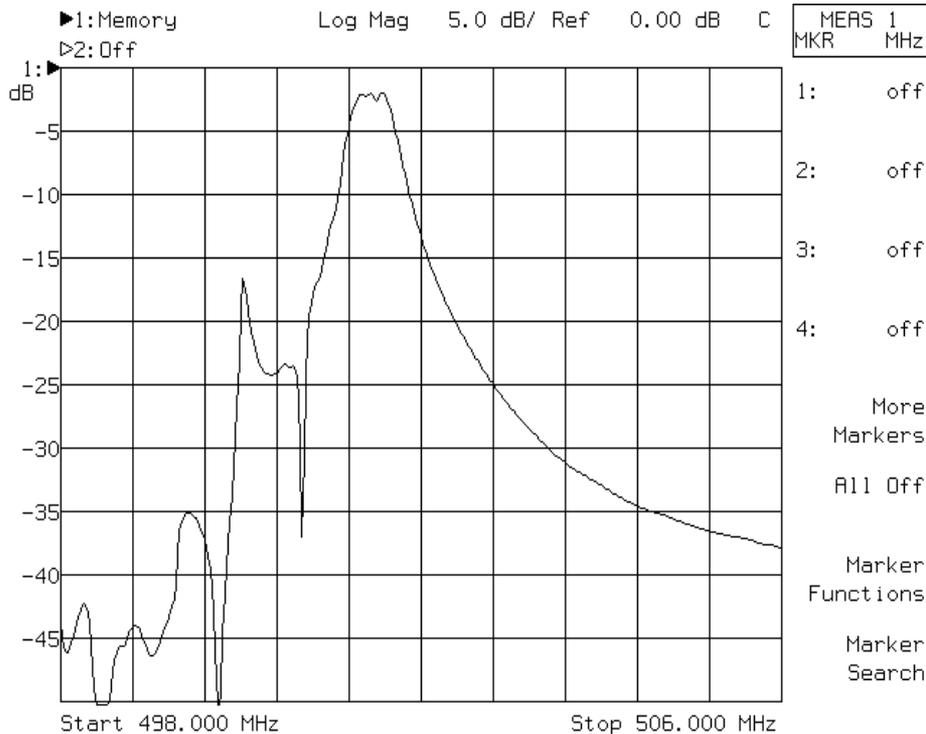
Измеренные частотные характеристики входного (слева) и выходного (справа) импедансов несогласованного двухпреобразовательного STW-фильтра на $f_0=501,45$ МГц

Согласование DMS STW-фильтра на $f_0=501,45$ МГц



Измеренные частотные характеристики входного (слева) и выходного (справа) импедансов согласованного двухпреобразовательного STW-фильтра на $f_0=501,45$ МГц

Согласованный DMS STW-фильтр на $f_0=501,45$ МГц



Измеренные АЧХ согласованного двухпреобразовательного STW-фильтра на $f_0=501,45$ МГц в широком (слева) и узком (справа) частотном диапазоне

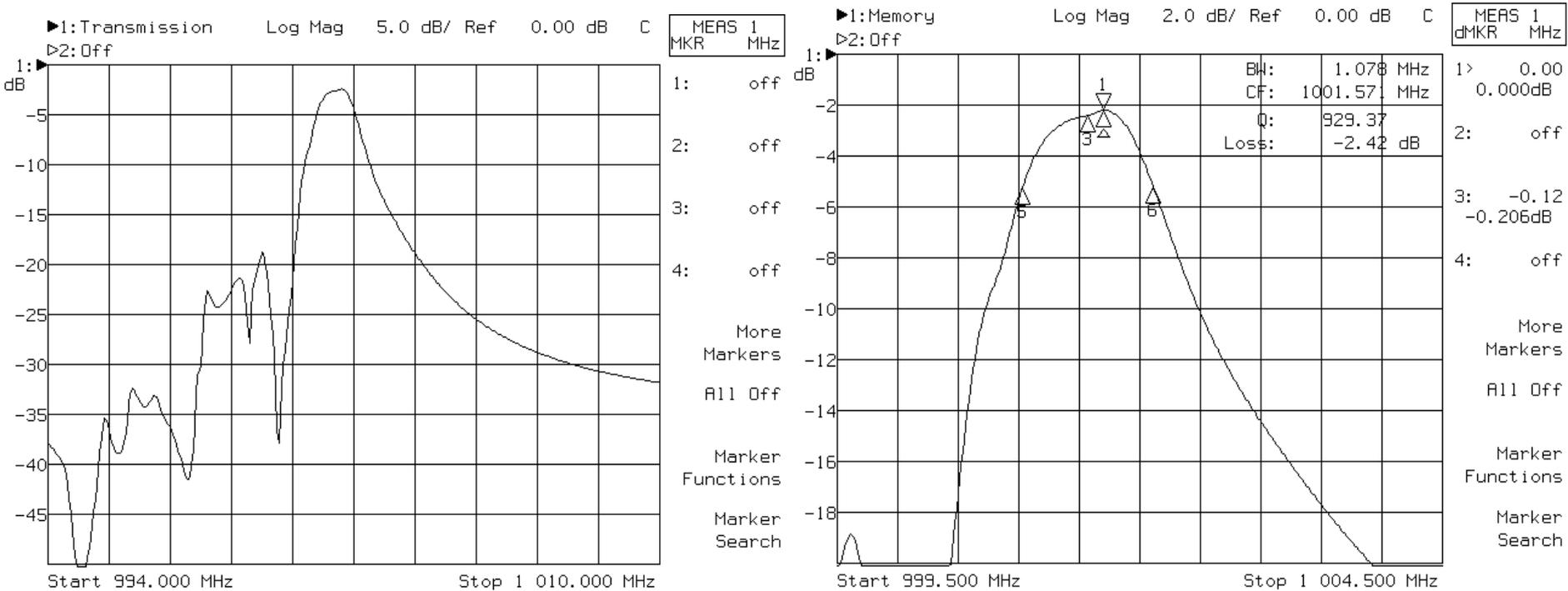
ВП=2,2 дБ

$f/f_0=0,1\%$

A=25-35 дБ

Пульсации 0,5 дБ

Согласованный DMS STW-фильтр на $f_0=1001,57$ МГц



Измеренные АЧХ согласованного двухпреобразовательного STW-фильтра на $f_0=1001,57$ МГц в широком (слева) и узком (справа) частотном диапазоне

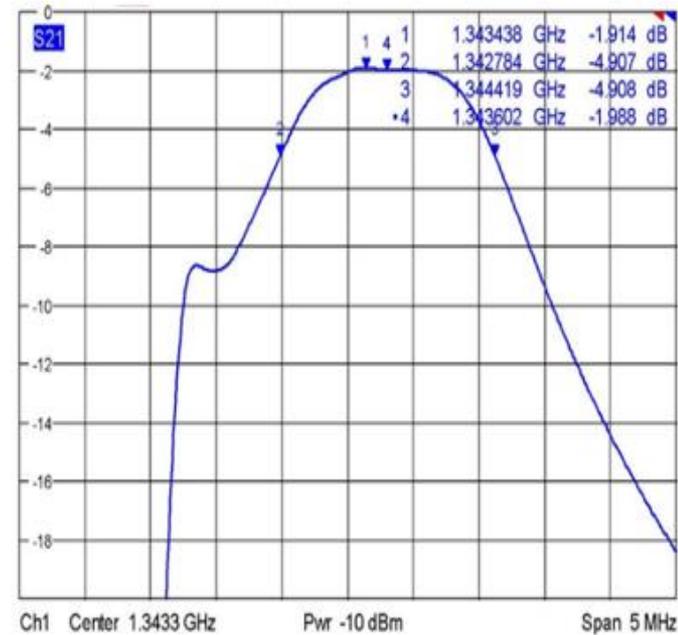
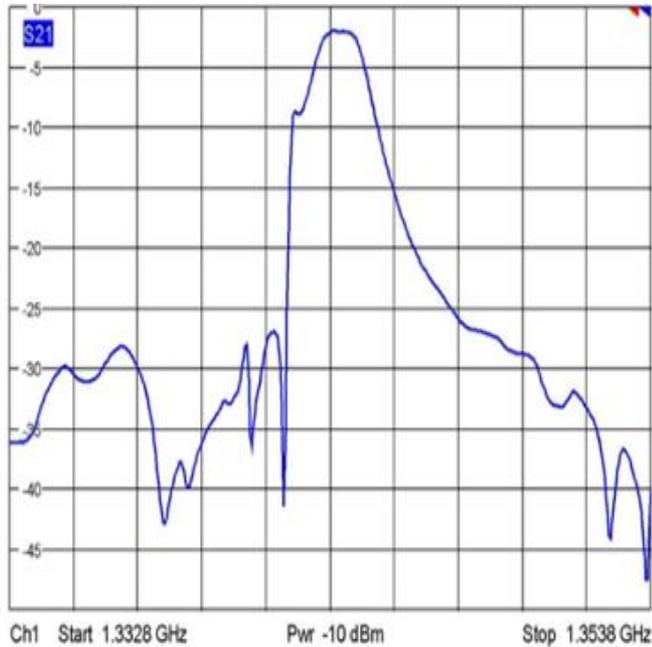
ВП=2,2 дБ

$f/f_0=0,1\%$

A=20-35 дБ

Пульсации 0 дБ

Согласованный DMS STW-фильтр на $f_0=1344$ МГц



Измеренные АЧХ согласованного двухпреобразовательного STW-фильтра на $f_0=1344$ МГц в широком и узком частотном диапазоне

ВП=2,0 дБ

$f/f_0=0,11\%$

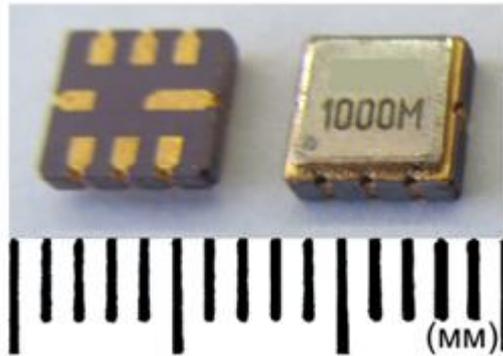
A=20-30 дБ

Пульсации 0 дБ

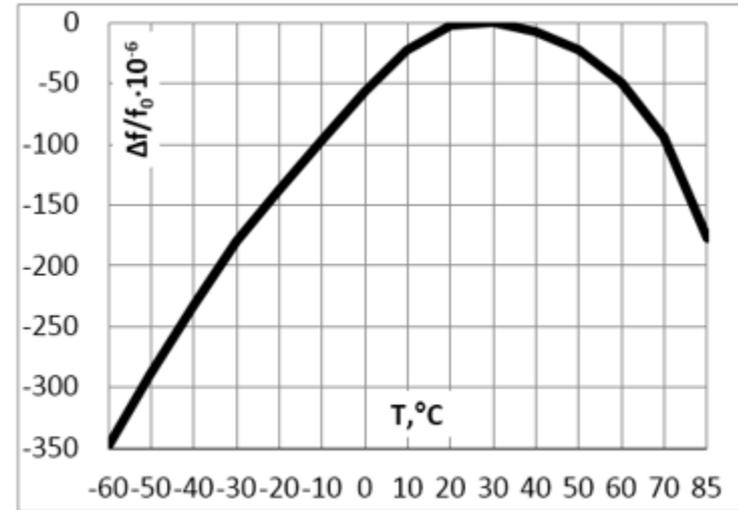
Сравнительные параметры STW-фильтров

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	2-2,2	0,07-0,12	8-30	5x5x1,8 мм

Внешний вид STW-фильтра и ТЧХ



Фотография STW-фильтра в SMD-корпусе



ТЧХ STW-фильтра на $f_0=766$ МГц

Выводы

Исследованные узкополосные лестничные и двухпреобразовательные фильтры на STW с высокодобротными асинхронными резонаторами в диапазоне частот 500-1344 МГц обеспечили затухание в полосе задерживания до 35 дБ, вносимые потери 3–6 дБ, пульсации 2 дБ в относительной полосе пропускания $\Delta f/f_0 = 0,07\text{--}0,12\%$. Снизить вносимые потери узкополосных фильтров на STW-резонаторах без ухудшения их добротности возможно за счет согласования с нагрузками по входу и выходу фильтров. Показано, что при использовании LC-согласования (компенсации емкостных составляющих входного и выходного импедансов) вносимые потери фильтров уменьшились до 2,0 - 2,2 дБ, амплитудные пульсации в полосе пропускания минимизировались. Уменьшенные потери представленных узкополосных STW-фильтров позволят расширить их использование в качестве входных фильтров для аппаратуры связи и элементов частотной стабилизации для малошумящих генераторов.