

Туркин Илья Алексеевич, инженер-разработчик
технического центра функциональной электроники ОАО
"МНИИРС", кафедра электротехники и микропроцессорной
электроники (ЭиМЭ) МИСиС (Москва)
stor007@bk.ru

Эффекты отражения от краёв экранирующих шин в
однонаправленных ВШП квази-веерных фильтров на ПАВ
УДК: 621.37/.39 (Радиоэлектроника)

Аннотация

В этой статье рассказывается об эффекте частичного отражения ПАВ от краёв экранирующих шин ОФНП и приведены рекомендации по уменьшению негативного влияния этого эффекта на АЧХ и ГВЗ фильтров на ПАВ в полосе пропускания. Эффект исследовался на квази-веерном фильтре ФП-474 (70В38v1 D), однако он может наблюдаться в целом ряде фильтров на ПАВ имеющих сходные топологические особенности. Минимизация этого эффекта позволяет значительно уменьшить неравномерность частотных характеристик в полосе пропускания и тем самым вывести характеристики многих фильтров на ПАВ на качественно новый уровень.

Ключевые слова: поверхностная акустическая волна (ПАВ), фильтр, однофазный направленный встречноштыревой преобразователь (ОФНП), полоса пропускания, пульсации амплитуды, неравномерность группового времени запаздывания (ГВЗ).

Tourkine Ilya Alekseevich

Effects of partial SAW reflection off masking bus-bar IDT borders in quasi-slanted SPUDT filters.

Abstract

The paper discusses an effect of partial SAW reflection off masking bus-bar SPUDT borders and presents recommendations to reduce negative influence on frequency responses in SAW filter transmission band. This effect was explored on quasi-slanted SAW filter FP-474 (70B38v1 D), however it can be observed in a whole series of SAW filters with similar topological features. Minimization of this effect allows reducing ripple of frequency responses behavior in filter transmission

band, thus it will give an opportunity to make SAW filters of better quality.

Key words: surface acoustic wave (SAW), filter, single phase unidirectional transducer (SPUDT), bandwidth (BW), amplitude ripple (AR), group delay variable (GDV).

Введение

Фильтры на ПАВ являются одними из наиболее используемых в современных системах связи и устройствах беспроводной передачи данных в силу их миниатюрности, надёжности, термостабильности и возможности реализации сложных частотных характеристик.

Неравномерность АЧХ и пульсации ГВЗ в полосе пропускания являются одними из наиболее важных показателей полосового фильтра на ПАВ наряду с такими, как вносимые потери, избирательность и коэффициент прямоугольности. Создание фильтра на ПАВ с малыми пульсациями АЧХ и ГВЗ, хорошей избирательностью и малыми вносимыми потерями всегда было и остаётся одной из приоритетных задач ПАВ-технологии, поставленных нуждами современной электроники [1,2].

Эффекты отражения

Уже давно известен эффект отражения ПАВ от торцов кристалла. Принципиально он заключается в частичном переотражении ПАВ, излучённой ВШП в обратном направлении, от края кристалла. Существуют различные методы борьбы с этим эффектом, среди которых такие, как грубая обработка торцов, нанесение на них акустически поглощающих материалов, изготовление чипов в форме параллелограмма для изменения направления вектора распространения переотражённой волны, а также некоторые другие.

Однако данный эффект является отнюдь не единственной причиной, вносящей дополнительные искажения в характеристики фильтров на ПАВ, в том числе современных квази-веерных фильтров на базе однонаправленных встречно-штыревых преобразователей (ОФНП) [3,4].

Недавно, опытным путём было исследовано негативное влияние эффекта отражения ПАВ от краёв экранирующих шин ОФНП на частотные характеристики фильтров этого типа (на базе ОФНП) в полосе пропускания.

Суть эффекта состоит в том, что при генерации ПАВ излучающим ОФНП, несмотря на направленность преобразователя,

некоторая часть ПАВ генерируется в обратном направлении (См рис.1).

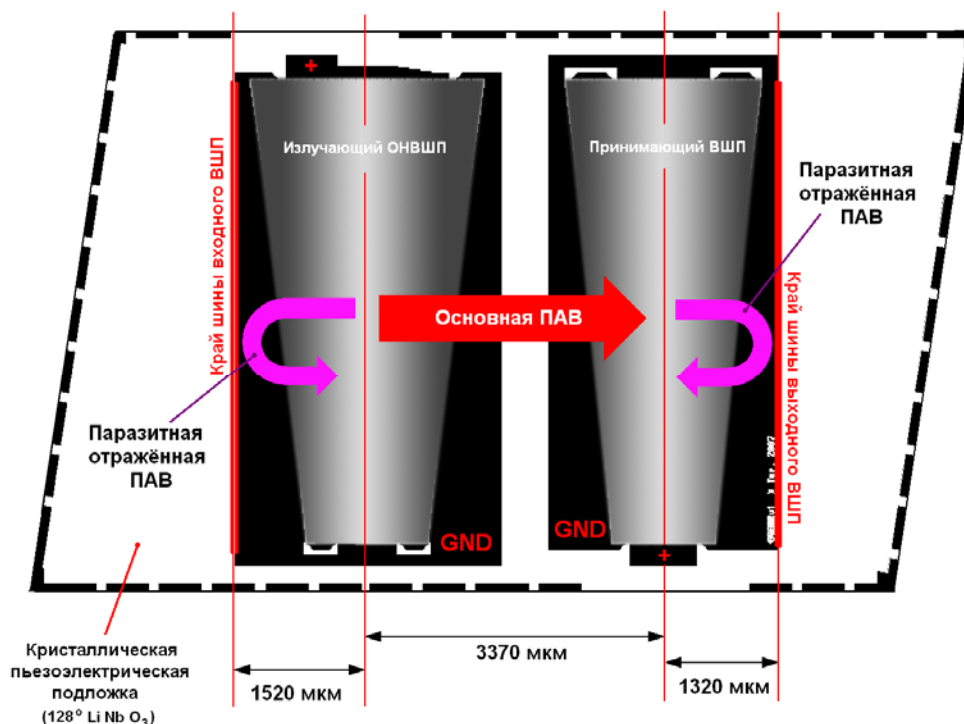


Рис.1 – Схема распространения основной (стрелка выделена красным) и паразитных (стрелка выделена сиреневым) ПАВ в фильтре ФП-474 (70V38v1 D); края экранирующих шин обведены красным.

Достигая края шины ОФНП волна частично переотражается и начинает распространяться вдоль основного направления, но с дополнительной задержкой, равной времени, необходимому ПАВ на преодоление этого дополнительного расстояния. Обратный эффект наблюдается, когда ПАВ достигает условного центра приёмного ВШП: некоторая часть волны сразу не преобразуется в ЭМ сигнал, а продолжает распространяться. Достигнув шины преобразователя, часть ПАВ также отражается по направлению к центру выходного преобразователя, где основная её часть преобразуется в ЭМ сигнал также с некоторой дополнительной задержкой.

Так как в реальности мы имеем дело не с отдельным бесконечно малым импульсом сигнала, а с непрерывной генерацией ПАВ, то эти отражённые волны векторно суммируются с основными, что вносит дополнительные фазовые искажения. Характер этих искажений, а тем более их количественное влияние, предсказать довольно сложно из-за некоторой неоднородности скорости ПАВ на частично металлизированной пьезоэлектрической подложке, а также из-за набегающей фазовой неоднородности ПАВ в квази-веерных ОФНП в силу различия периодов электродов.

Эксперимент и анализ характеристик

Для изучения этого вопроса был проведён эксперимент с широкополосным фильтром ФП-474 на 70 МГц, в ходе которого были проведены измерения его АЧХ, ИХ и ГВЗ. На снятой ИХ были обнаружены два аномальных пика, приблизительно соответствующих удвоенному времени запаздывания с некоторым отклонением в обе стороны и находящихся на уровне -35 дБ от пика основного сигнала (см. рис. 2,б). Для выяснения причин их возникновения было проведено сопоставление времён задержки этих пиков с основными расстояниями на структуре ВШП и средней скоростью распространения ПАВ на металлизированной поверхности в данном срезе (128°LiNbO_3), составляющей приблизительно ~ 3850 м/с. Расстояние между центрами ОФНП структуры составляло ~ 3370 мкм, расстояния от центра 1-го и 2-го ВШП до их краёв шин составляли ~ 1520 мкм и ~ 1320 мкм соответственно (см. рис.1).

Если принять во внимание расстояния между центрами ОФНП структуры и расстояния от центра 1-го и 2-го ВШП до их краёв шин, то, учитывая реальную скорость распространения ПАВ, можно рассчитать дополнительное время запаздывания ПАВ, отражающейся от краёв шин (см. рис.1).

Зная значение скорости ПАВ в кристалле (~ 3850 м/с для металлизированной поверхности и ~ 3980 м/с для свободной поверхности в кристалле LiNbO_3 среза 128°) и расстояния от центра 1-го и 2-го ВШП до их краёв шин можно рассчитать дополнительное время запаздывания отражённых ПАВ: $(1520 \text{ мкм} / 3850 \text{ м/с}) \times 2 = 0,790$ мкс для 1-го и $(1320 \text{ мкм} / 3850 \text{ м/с}) \times 2 = 0,686$ мкс для 2-го ВШП соответственно (коэффициент 2 обусловлен тем, что волна проходит в прямом и обратном направлении – см. рис.1).

Прибавив эти значения дополнительного времени запаздывания к среднему ГВЗ ($\sim 0,877$ мкс) и сопоставив полученные значения со значениями пиков (обведены синим) на реальной ИХ ФП-474 (70В38v1 D) на рис.2(б), можно наблюдать очень близкое их соответствие что подтверждает справедливость вышеизложенного. Таким образом, характеристики фильтра, представленные на рис.2 (а) включают в себя влияние эффекта отражения ПАВ от краёв экранирующих шин.

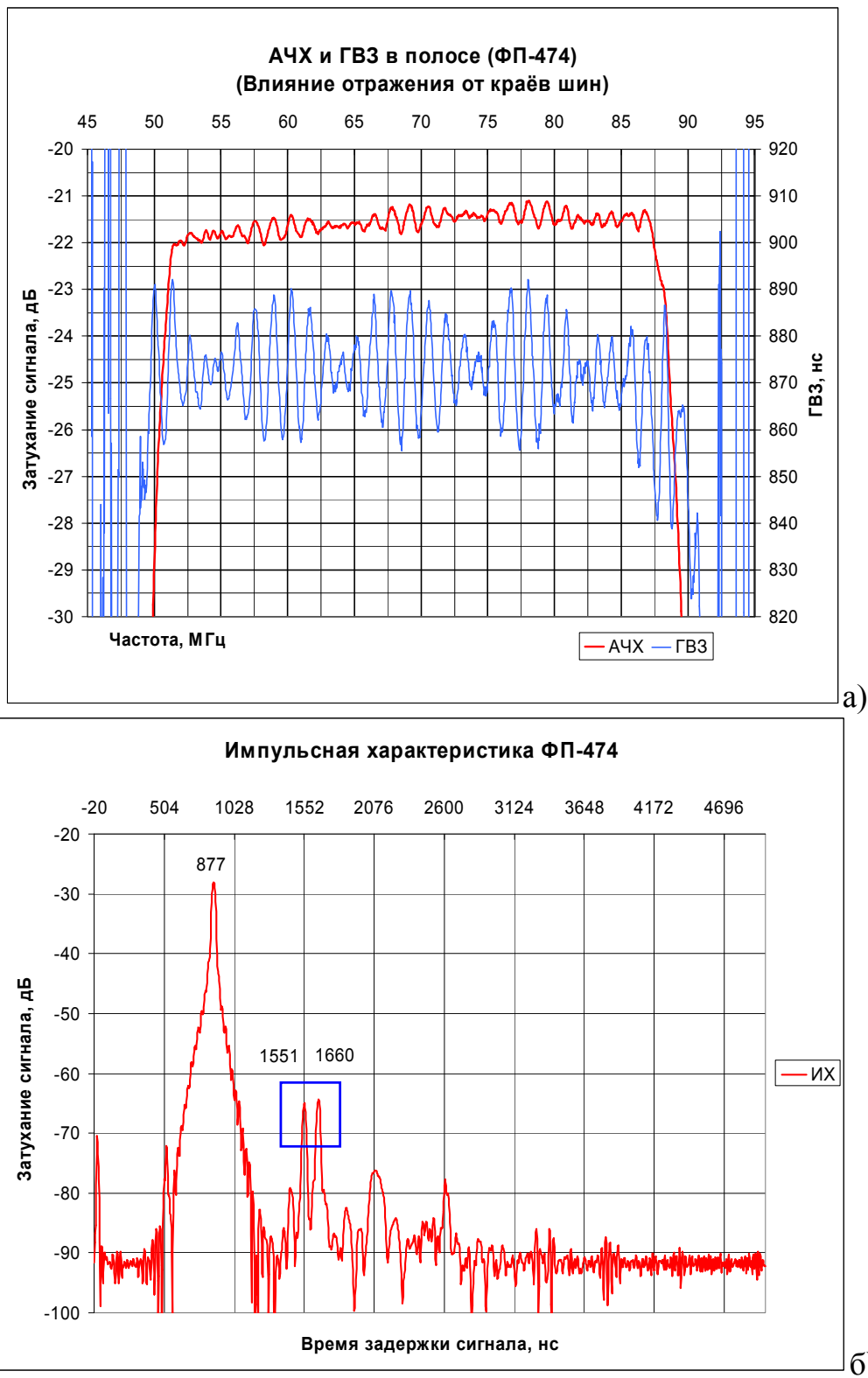


Рис.2 – Частотная (АЧХ и ГВЗ) (а) и импульсная (б) характеристики фильтра ФП-474 (70B38v1 D).

Как известно, основными механизмами отражения ПАВ от металлических электродов являются закорачивание электрического поля ПАВ металлической плёнкой и накопление реактивной энергии под электродами. Очевидно, что для устранения влияния отраженной ПАВ на характеристику необходимо каким-либо

способом устранить появление отражённой ПАВ или погасить её энергию ещё до отражения.

Устранить её появление можно, избавившись от экранирующей шины на стадии разработки топологии, но это, в свою очередь, может изменить другие характеристики фильтра, а в данном конкретном случае не представляется возможным в силу того, что фильтр уже изготовлен. Однако можно в известной степени погасить отражённую волну, если нанести акустопоглощающий материал не только на торцы кристалла, но и непосредственно на экранирующую шину (похожая операция применялась ранее для снижения отражённых волн в фильтрах на стандартных двунаправленных ВШП), не затрагивая активной части топологии ВШП, как показано ниже, на рис.3.

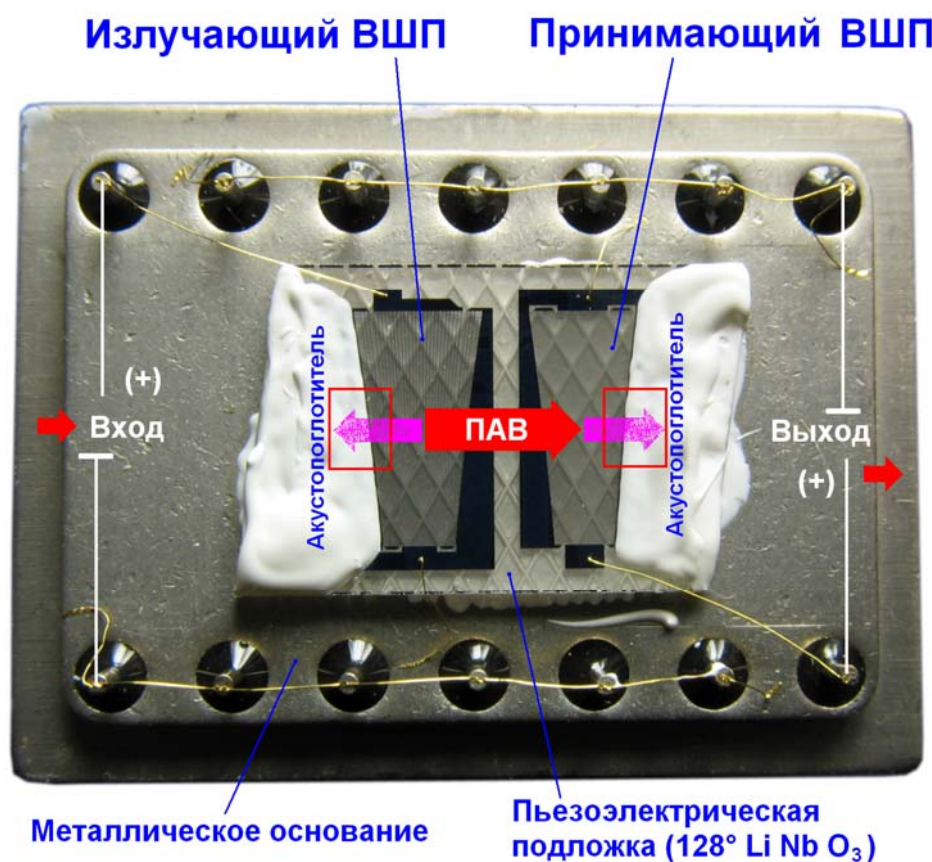


Рис.3 – Схема распространения основной и поглощения паразитных ПАВ (Фото фильтра ФП-474 70B38v1 D в корпусе DIP 151.15-8 19,5×14,5 мм с нанесённым акустопоглотителем).

В качестве акустопоглощающих материалов обычно используются различные кремнийорганические соединения типа эластосилов или эпоксидные смолы с добавлением тяжёлых оксидов для увеличения плотности (эффективность акустического поглощения увеличивается при приближении плотности акустопоглощающего материала к плотности кристалла).

Упомянутая выше операция и была проделана с фильтром ФП-474 (70B38v1 D), после чего были проведены повторные измерения

его импульсной и частотных характеристик в согласованном режиме (см. Рис.4).

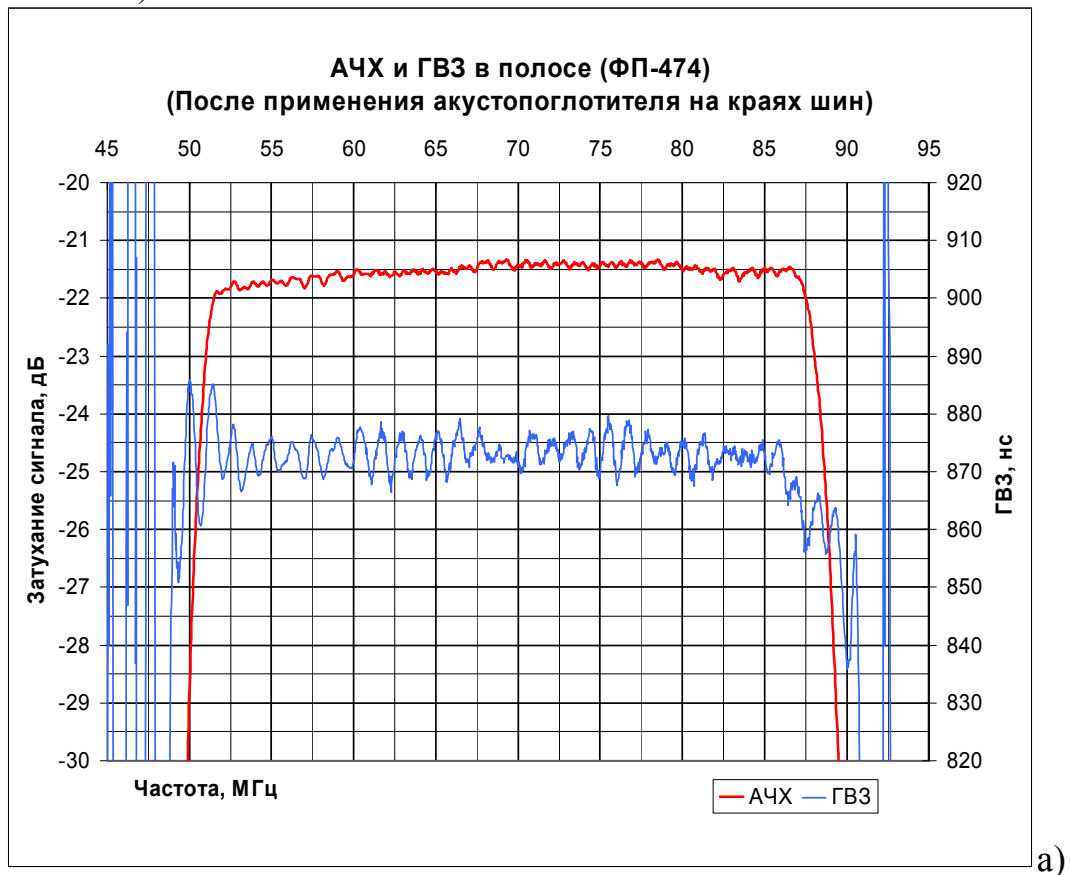


Рис.4 – Частотная (АЧХ и ГВЗ) (а) и импульсная (б) характеристики фильтра ФП-474 (70В38v1 D) после устранения влияния паразитных отражённых волн.

Из характеристик на рис.4 (б) видно, что паразитные пики на ИХ уменьшили свою интенсивность почти на 20 дБ по сравнению с первым случаем и практически сливаются с шумовым фоном. Также можно наблюдать уменьшение пульсаций АЧХ и ГВЗ (рис.4 а) в полосе пропускания более, чем в 2 раза, что, очевидно, является следствием отсутствия влияния описанных выше паразитных ПАВ, отражающихся от краёв экранирующих шин.

Результаты

Влияние отражённых паразитных ПАВ на пульсации АЧХ и ГВЗ в полосе пропускания оказалось весьма значительно, и его устранение в данном случае позволило получить качественно новый полосовой фильтр, применение которого возможно в уже гораздо более требовательных к этим параметрам радиоэлектронных и навигационных системах. Следует добавить, что с помощью описанного способа удалось эффективно уменьшить пульсации АЧХ и неравномерность ГВЗ в полосе пропускания у целого ряда широкополосных квазивеерных фильтров на ПАВ на базе ОФНП, среди которых ФП-59 (см. рис.5 справа), ФП-483, ФП-473 (см. рис.5 слева) и ФП-474.

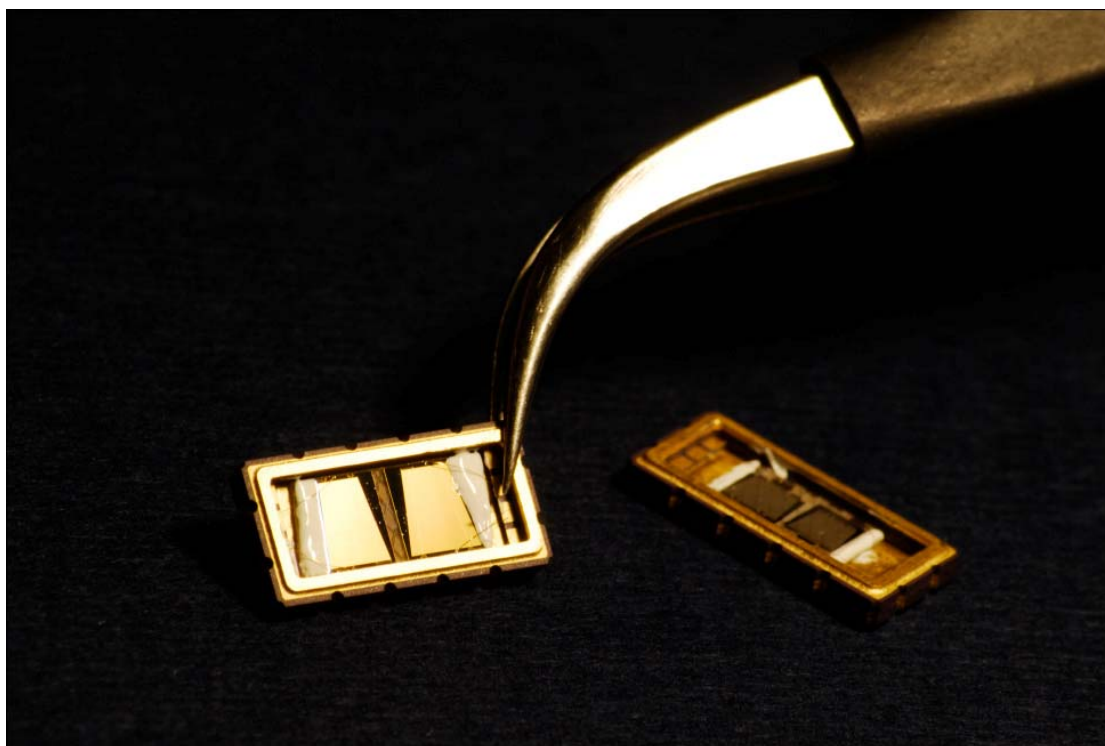


Рис.5 – Фото квазивеерных фильтров на ПАВ на базе ОФНП фильтров в металло-керамическом SMD корпусе 13,3 x 6,5 мм (не закрытые, фильтр ФП-473 (слева) удерживается пинцетом).

Все перечисленные фильтры являются последними разработками технического центра функциональной электроники ОАО «МНИИРС» (3 последних разработаны автором) и по многим

своим показателям на момент написания статьи превосходили аналоги таких знаменитых зарубежных фирм как SAWTEK, TAI-SAW TECHNOLOGY и некоторых других.

Наиболее типичные показатели образцов этих фильтров, измеренные до и после минимизации акустопоглотителем эффекта отражения ПАВ от краёв шин (ЭОК) приведены ниже, в таблице.

Таблица – Влияние ЭОК на характеристики фильтров

Влияние ЭОК →	Присутствует				Подавлено			
	ФП-59	ФП-473	ФП-474	ФП-483	ФП-59	ФП-473	ФП-474	ФП-483
Параметр ↓ \ Фильтр →								
Центральная частота f_0 , МГц	140	70	70	37	140	70	70	37
Вносимые потери, дБ	22,5	17,7	18,9	23	22,5	17,7	18,9	23
Полоса пропускания по уровню -1 дБ, МГц	76,5	27,1	34,8	21,8	76,5	27,1	34,8	21,8
Полоса пропускания по уровню -3 дБ, МГц	79,6	28,4	37,4	22,5	79,6	28,4	37,4	22,5
Полоса пропускания по уровню -40 дБ, МГц	90	33	43,1	25,4	90	33	43,1	25,4
Неравномерность АЧХ в полосе частот 70% от BW3, дБ	0,8	0,9	0,9	0,8	0,4	0,5	0,6	0,4
Неравномерность ГВЗ в полосе частот 70% от BW3, нс	12	30	35	70	7	10	12	30
Затухание в полосе заграждения, дБ	40	45	40	40	40	45	40	40
Температурный коэффициент, ppm/°C	76	90	76	76	76	90	76	76
Рабочая температура, °C	-55/+85							

Во всех этих фильтрах пульсации АЧХ и неравномерность ГВЗ в полосе пропускания были уменьшены посредством нанесения акустопоглотителя приблизительно в 1,5–2 и 2–3 раза соответственно, что является значительным их качественным улучшением и расширяет спектр их применения.

Заключение

В ходе исследований частотных характеристик многих фильтров на базе квазивеерных ОФНП было выявлено и качественно оценено влияние эффекта отражения ПАВ от внешних краёв экранирующих шин на пульсации частотных характеристик в полосе пропускания. Был также найден эффективный метод минимизации этого негативного влияния. Исключение этого эффекта позволяет значительно уменьшить неравномерность

частотных характеристик (АЧХ и ГВЗ) в полосе пропускания и тем самым вывести характеристики многих фильтров на ПАВ со сходными топологическими особенностями на качественно новый уровень, что может существенно расширить область их применения.

Автор выражает благодарность сотрудникам технического центра функциональной электроники ОАО «МНИИРС» за предоставленные материалы по фильтрам на ПАВ, а также исследовательской и технологической базы для проведения соответствующих экспериментов.

Список использованных сокращений:

ПАВ (SAW) – поверхностная акустическая волна (surface acoustic wave)

АЧХ – амплитудно-частотная характеристика

ГВЗ (GDV) – групповое время запаздывания (group delay variable)

ИХ – импульсная характеристика

ВШП (IDT) – встречно-штыревой преобразователь (interdigital transducer)

ОФНП (SPUDT) – однонаправленный встречно-штыревой преобразователь (single phase unidirectional transducer)

ЭОК – эффект отражения от краёв шин

ЭМ – электромагнитный

SMD (Surface Montage Device) – устройство для поверхностного монтажа

Список использованных источников:

[1] Туркин И., «Фильтры на ПАВ – ускоренные методы проектирования» Электроника НТБ №2, РИЦ «Техносфера» 2008.

[2] «Фильтры на Поверхностных Акустических Волнах». Под ред. Г.Мэтьюза, М.: «Радио и связь», 1981.

[3] «Design Technique for SAW Filters Using Slanted Finger Interdigital Transducers», H. Yatsuda, IEEE Trans. on UFFC, Vol. 44, No. 2, March 1997.

[4] R. B. Brown and S. Gopani, “Apodized Single-phase Unidirectional Transducer SAW Devices”, in Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, 1991, pp.231-234.