

# Фильтры на поверхностных акустических волнах компании RF360

В. Ежов

УДК 621.372.54 | ВАК 05.27.01

Компания RF360, принадлежащая Qualcomm Inc., выпускает широкую номенклатуру решений для радиочастотных входных интерфейсов (RF Front-End), в частности фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ) и объемных акустических волнах (ОАВ). Они предназначены для работы в широком диапазоне частот в таких быстрорастущих рыночных сегментах, как мобильная связь 5G, Интернет вещей, беспилотные летательные аппараты, робототехника, автомобильные и промышленные системы. В статье представлены краткие сведения о характеристиках, критериях выбора и основных типах ПАВ-фильтров, предлагаемых компанией RF360.

**З**а последнее время значительно возросло количество сервисов радиосвязи, излучаемые сигналы которых являются источниками взаимных помех. Для повышения надежности работы радиосервисов применяют частотные фильтры, в частности фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ), которые рассчитаны на частоты от нескольких МГц до 3 ГГц.

Работа ПАВ-фильтров основана на пьезоэлектрическом эффекте, то есть при приложении давления к пьезоэлектрической подложке механическая энергия преобразуется в электрическую и наоборот. На подложку из пьезоэлектрического материала наносится специальная структура, которая создает поверхностную акустическую волну. Поскольку размеры структуры обратно пропорциональны частоте волны, частоты менее 1 МГц из-за ограниченных размеров подложки получить затруднительно, а частоты выше 3 ГГц требуют создания более тонких структур, что пока недостижимо для современных технологий.

Такие структуры обеспечивают узкополосную фильтрующую характеристику, кроме того, воспроизводимость таких структур в процессе производства очень высокая. Преимуществом ПАВ-фильтров является также то, что длина акустической волны намного меньше длины волны электромагнитного поля, что позволяет достичь очень компактных размеров устройства.

По сравнению с LC-фильтрами ПАВ-фильтры обладают более высокой избирательностью. Кроме того, сигнал более эффективно передается на вход приемника или антенну из-за меньших вносимых потерь. В передающих радиочастотных системах ПАВ-фильтры используются для подавления излучения нежелательных гармоник. В приемных трактах ПАВ-фильтры улучшают избирательность входных каскадов: зеркальные частоты подавляются, а мощные внеполосные помеховые сигналы блокируются.

При выборе ПАВ-фильтра для конкретного приложения следует учитывать требования национальных или международных стандартов, а также ряд характеристик конечного оборудования, в том числе диапазон частот, параметры электромагнитной совместимости, полосу пропускания, чувствительность, максимально допустимые режимы работы (диапазон температур, максимальное напряжение питания и др.).

Каждое приложение работает в одном, а иногда и в нескольких частотных диапазонах. ПАВ-фильтр рассчитан на определенную частоту, которая называется центральной частотой. Например, для GPS-систем центральная частота ПАВ-фильтра составляет 1575,42 МГц. В каждой стране есть несколько частотных диапазонов, в которых разрешено работать радиочастотным системам. Например, международными стандартами для ISM-диапазона (промышленные, научные и медицинские диапазоны) определены следующие частоты: 433,05–434,79 МГц для Европы и 902–928 МГц для Америки.

Условия электромагнитных помех, в которых работает система, определяют требуемый уровень ослабления вне полосы пропускания ПАВ-фильтра. Ситуацию с источниками помех необходимо проверять как в используемой полосе частот, так и в соседних полосах частот.

Что касается полосы пропускания, то ее можно рассчитать исходя из максимальной и минимальной частот передаваемого сигнала. Частота передаваемого сигнала может меняться из-за производственных допусков, температурного дрейфа, старения, отклонения рабочего напряжения и спектра модуляции передатчика.

Ведущие производители, в том числе RF360, предлагают ПАВ-фильтры с разной шириной полосы, поскольку при их изготовлении могут использоваться различные материалы пьезоэлектрической подложки, такие как кварц или танталат лития.

Таблица 1. Варианты конструктивного исполнения ПАВ-фильтров для автомобильных приложений

Наименование параметра	Тип корпуса	
	Керамический SMD-корпус	CSSP-корпус
Размеры, мм	2520, 3025, 3030, 3838	1109, 1411, 1511, 2016
Соответствие АЕС-Q200	Соответствует классу 1 (-40...125 °С)	
Стойкость к термоциклам	1 000 циклов в диапазоне температур -40...125 °С	
Стойкость к воздействию повышенной влажности	1 000 ч при температуре 85 °С и относительной влажности 85%	

ПАВ-фильтры с кварцевой подложкой могут иметь очень узкую полосу пропускания (например, 100–120 кГц или 300–1100 кГц). Они отличаются меньшим температурным дрейфом центральной частоты, однако входной и выходной импеданс превышает 50 Ом и имеет емкостную составляющую. При использовании танталата лития в качестве подложки возможны 50-Ом входы и выходы, но полоса пропускания шире (порядка 600–26 000 кГц), а температурный сдвиг центральной частоты больше.

В спецификации заказчика всегда определена чувствительность приемника, поэтому важно, чтобы потери во входном тракте были как можно меньше. На чувствительность сильно влияет вносимое затухание ПАВ-фильтра. Для наихудшего случая максимальные вносимые потери ПАВ-фильтра – это минимальные вносимые потери плюс пульсации в полосе пропускания передачи (узкополосный фильтр) или максимальные вносимые потери для соответствующей полосы пропускания (широкополосный фильтр), указанные в документации.

Компания RF360 предлагает широкий ассортимент ПАВ-фильтров (одиночных, диплексеров, с двухвершинной

(double hump) характеристикой) для ключевых секторов рынка: автомобильной электроники, промышленных систем и мобильной связи.

Стандартные и термокомпенсированные ПАВ-фильтры для автомобильной электроники отвечают жестким требованиям стандарта АЕС-Q200 и рассчитаны на работу в диапазоне температур -40...125 °С. Устройства поддерживают глобальные частотные диапазоны и находят применение в высокоточных глобальных навигационных спутниковых системах (ГНСС) и телематических системах автомобиля. РЧ-фильтры для ГНСС должны обеспечивать низкие значения потерь и амплитудных пульсаций, чтобы гарантировать высокую чувствительность в соответствующем диапазоне, а также высокое ослабление сигнала в LTE-диапазоне для снижения помех, мешающих приему ГНСС-сигнала.

Доступны два варианта конструктивного исполнения ПАВ-фильтров: керамический SMD-корпус и миниатюрный корпус CSSP (Chip-sized SAW Packaging), минимальные габариты которого составляют всего 1,1×0,9 мм (табл. 1).

В автомобильных системах помощи водителю (ADAS), работающих в сочетании с высокоточными мультисигментными

Таблица 2. ПАВ-фильтры для автомобильных ГНСС

Серия	Начальная частота, МГц	Конечная частота, МГц	Центральная частота, МГц	Вносимое затухание, дБ	Размеры, мм	Особенности
B2611	1 559,05	1 605,89	1 582,47	0,8–0,9	1,1×0,9	Очень низкое вносимое затухание
B4348	1 559,05	1 605,89	1 582,47	0,8–1,0	1,4×1,1	
B2618	1 559,05	1 605,89	1 582,47	0,9–1,4	1,1×0,9	Высокая внеполосная избирательность
B4353	1 559,05	1 605,89	1 582,40	1,0–1,5	1,4×1,1	
B3415	1 559,00	1 606,00	1 582,50	2	3,0×3,0	Высокое ослабление в диапазоне 1450...1525 МГц
B4391 (диплексер)	1 197 1 550	1 249 1 606	1 223 1 582,5	1,2–1,3 1,0–1,3	1,5×1,1	Очень низкое вносимое затухание, малая НГВЗ
B4388 (диплексер)	1 197 1 559	1 249 1 606	1 223 1 582,5	1,6–2,2 1,4–2,2	1,5×1,1	Высокая внеполосная избирательность, малая НГВЗ
B3596	1 196	1 250	1 223	2,0	3,0×3,0	Высокая избирательность, малая НГВЗ
B3423	1 560	1 606	1 583	1,4–2,0	3,0×3,0	

Таблица 3. ПАВ-фильтры для ГНСС-приемников в устройствах Интернета вещей и промышленных приложениях

Серия	Начальная частота, МГц	Центральная частота, МГц	Конечная частота, МГц	Полоса пропускания, МГц	Размеры, мм	Частотный диапазон	Вносимое затухание, дБ (тип.)	НГВЗ, (тип.)	Макс. темп., °С	Особенности
Одиночные фильтры для диапазонов L и L1										
B7504	1559	1583	1606	47	0,9×0,7	L1	0,9-1,2	4	85	Низкое вносимое затухание + высокое ослабление
B8813	1559	1583	1606	47	1,1×0,9	L1	0,85-1,2	3	85	Низкое вносимое затухание
B8839	1559	1583	1606	47	1,1×0,9	L1	1,2-1,9	5	85	Высокое ослабление
B8878	1559	1583	1606	47	1,1×0,9	L1	0,9-1,2	6	85	
B8313	1559	1583	1606	47	1,4×1,1	L1	0,8-1,3	4	85	Низкое вносимое затухание
B9621	1559	1583	1606	47	1,4×1,1	L1	1,0-1,4	4	95	Промышленный диапазон
B7527	1574	1583	1606	32	1,1×0,9	L1	0,95-1,7	8	85	B24 подавление между 1526-1536 и 1627-1680 МГц
B2634	1561	1588	1615	54	1,4×1,1	L1	1,9-2,1	25	125	
Одиночные фильтры для диапазонов L2 и L5, E6 и IRNSS/NavIC										
B7505	1166	1176	1186	20	0,9×0,7	L5	0,9	-	85	Низкое вносимое затухание; L5, E5a
B8884	1166	1176	1186	20	1,1×0,9	L5	1,0	-	85	
B7525	1166	1176	1186	20	1,1×0,9	L5	1,3	9	85	L5, E5a; высокая избирательность в соседнем канале
B2637	1164	1192	1219	55	1,4×1,1	L5	1,5	12-15	125	L5, E5a, E5b, G3, B2-1
B2632	1197	1223	1249	52	1,1×0,9	L2	1,0-1,3	2-4	125	L5, E5a, E5b, G3, B2-1, L2, G2; малая НГВЗ
B2635	1212	1235	1257	45	1,4×1,1	L2	2	2-15	125	L2, G2
B8889	1166	1197	1228	62	1,1×0,9	L2/L5	0,9-1,4	-	85	L5, E5a, E5b, G3, B2-1, L2
B2642	1166	1225	1284	118	1,4×1,1	L2/L5	1,1-2,2	6-10	105	Ультраширокий частотный диапазон; L5, E5a, E5b, G3, B2-1, L2, G2, B3-1, E6
B2638	1251	1279	1306	55	1,4×1,1	E6	1,8	13	125	E6, B3-1
B2639	2483,7	2492,0	2500,3	16,6	1,4×1,1	IRNSS, NavIC	3,5	14	125	

# Qualcomm RF360

## Современные ПАВ-фильтры для любых применений



RF360 Holdings — дочерняя компания Qualcomm Incorporated с отделами исследований и разработок, которая разрабатывает и производит инновационные решения RFFE-фильтрации для мобильных устройств и быстрорастущих сегментов бизнеса, таких как Интернет вещей, дроны, робототехника, автомобильные приложения и многое другое.

### Symmetron

Техподдержка: [rf360@symmetron.ru](mailto:rf360@symmetron.ru)

МОСКВА  
Ленинградское шоссе, д. 69, к. 1  
Тел.: +7 495 961-20-20  
[moscow@symmetron.ru](mailto:moscow@symmetron.ru)

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
ул. Таллинская, д. 7  
Тел.: +7 812 449-40-00  
[spb@symmetron.ru](mailto:spb@symmetron.ru)

НОВОСИБИРСК  
ул. Боллохера, д. 716  
Тел.: +7 385 361-34-24  
[nsb@symmetron.ru](mailto:nsb@symmetron.ru)

МИНСК  
ул. В. Хоружей, д. 1а, оф. 403  
Тел.: +375 17 336-06-06  
[minsk@symmetron.ru](mailto:minsk@symmetron.ru)

[www.symmetron.ru](http://www.symmetron.ru)

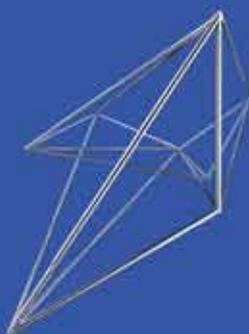


Таблица 3. Продолжение

Серия	Начальная частота, МГц	Центральная частота, МГц	Конечная частота, МГц	Полоса пропускания, МГц	Размеры, мм	Частотный диапазон	Вносимое затухание, дБ (тип.)	НГВЗ, нс (тип.)	Макс. темп., °С	Особенности
Диплексеры и double hump фильтры для диапазонов L, L1, L2 и L5										
B1267 (диплексер)	1166	1176	1186	20	1,5×1,1	L1 + L5	1,2	-	85	L5, E5a
	1559	1583	1606	47			1,2-1,5	3		
B9968 (диплексер)	1166	1176	1186	20	1,5×1,1	L1 + L5	1,7	-	85	L5, E5a
	1559	1583	1606	47			1,4-2,3	5		
B9973 (диплексер)	1166	1197	1228	62	1,5×1,1	L1 + L2/L5	1,2-1,7	-	85	L5, E5a, E5b, G3, B2-1, L2
	1559	1583	1606	47			1,3-1,6	-		
B3503 (double hump)	1166	1177	1187	21	3,0×3,0	L1+L5	1,4-1,6	3	125	L5, E5a; малая НГВЗ
	1559	1583	1606	47			1,9	3		
B2651 (double hump)	1166	1210	1254	88	1,5×1,1	L/L1 + L2/L5	0,7-1,0	2-7	105	L5, E5a, E5b, G3, B2-1, L2, G2; малая НГВЗ
	1545	1578	1610	65			1,8-2,4	2,5-5		

ГНСС, жестким требованием является неравномерность группового времени запаздывания (НГВЗ) РЧ-фильтра. Целевое значение этого параметра составляет около 5 нс, чтобы обеспечить точное позиционирование для избежания столкновений. Этим требованиям отвечают ПАВ-фильтры RF360 для автомобильных приложений, популярные серии которых приведены в табл. 2. Соответствие конкретной модели фильтра классу стандарта AEC-Q200 зависит от приложения, в котором используется ПАВ-фильтр (антенная система или приборная панель).

ПАВ-фильтры для Интернета вещей и промышленных приложений, которые предлагает RF360, охватывают все распространенные диапазоны частот ГНСС (GPS, Galileo, Глонасс и Beidou), включая диапазоны L2, L5, L и L1 (табл. 3). Мультидиапазонные диплексеры RF360 для базовых станций систем сотовой связи 5G, 4G, 3G обеспечивают очень высокую изоляцию частотных диапазонов.

В 2020 году компания RF360 представила новую технологию ПАВ-фильтров – ultraSAW, предназначенную для мобильных устройств, поддерживающих сети 4G и 5G. Вносимые потери в новых устройствах уменьшены не менее чем на 1 дБ, что делает их более эффективными по сравнению с конкурирующими фильтрами на объемных акустических волнах (ОАВ).

К достоинствам фильтров ultraSAW, рассчитанных на работу в диапазоне от 600 МГц до 2,7 ГГц, относится

эффективное выделение приемного и передающего сигналов и подавление перекрестных помех, высокая частотная избирательность, высокий коэффициент добротности (до 5000), очень низкие вносимые потери и высокая температурная стабильность при очень малом температурном дрейфе (порядка единиц  $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ).

Это позволяет OEM-производителям реализовать в многорежимных устройствах 5G и 4G более энергоэффективный РЧ-тракт при меньших по сравнению с конкурентными решениями затратах и аналогичных технических характеристиках. Фильтры ultraSAW предназначены для использования в модулях усиления мощности (PAMiD), модулях входных каскадов (FEMiD), модулях разнесения (diversity modules, DRx), Wi-Fi-экстракторах, ГНСС-экстракторах и РЧ-мультиплексорах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. How to choose the optimal SAW filter. RF360 Application Note 19. September 16, 2019 // [www.qualcomm.com](http://www.qualcomm.com).
2. Product Guide: Automotive RF Filters for GNSS Applications // [www.qualcomm.com](http://www.qualcomm.com).
3. SAW Filters for GNSS Receiver in IoT, Industrial and Consumer Applications // [www.qualcomm.com](http://www.qualcomm.com).
4. SAW device selection table for Industrial Electronics (including Infrastructure Systems, IoT and Multimedia). April 2021 // [www.qualcomm.com](http://www.qualcomm.com).

# ARMY 2021

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ФОРУМ



\* ФРЕГАТ «АДМИРАЛ ФЛОТА  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА ГОРШКОВ»

**22–28 АВГУСТА  
ПАТРИОТ ЭКСПО**

[WWW.RUSARMYEXPO.RU](http://WWW.RUSARMYEXPO.RU)

ОРГАНИЗАТОР



МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЫСТАВОЧНЫЙ  
ОПЕРАТОР



МКВ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ  
КОНГРЕССЫ И ВЫСТАВКИ