

МИНИАТЮРНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ С ПРОДОЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ РЕЗОНАТОРОВ И СБОРКОЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ "ПЕРЕВЕРНУТОГО КРИСТАЛЛА" ДЛЯ АППАРАТУРЫ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС-GPS

Орлов Виктор Семенович,
д.т.н., Московский Технический Университет Связи (МТУСИ),
Россия, Москва,
fil trov-pav@yandex.ru

Ключевые слова: системы навигации, интегральные модули, фильтры на поверхностных акустических волнах, пьезоэлемент, сборка по технологии "перевернутого кристалла".

Описываются конструкции и частотные характеристики фильтров несущих частот для интегральных приемных модулей навигационных систем ГЛОНАСС (GLN)-GPS: узкополосных канальных фильтров на частотные диапазоны GLN L2, GLN L3, GPS L2 и широкополосных фильтров, охватывающих несколько частотных диапазонов GLN L1+ GPS L1 и GLN L2+ GPS L2. С целью уменьшения габаритов и реализации сравнительно широких относительных полос пропускания выбраны базовые конструкции СВЧ фильтров с продольной связью первой и третьей акустических мод в резонаторах на отходящих поверхностных акустических волн (ОПАВ). Показано, что для интегральных модулей оптимальным решением является применение СВЧ фильтров на ОПАВ, спроектированных и изготовленных в виде законченных объектов в миниатюрных корпусах типа CSSP 2,0x1,6 мм со сборкой пьезоэлементов по прогрессивной технологии "перевернутого кристалла" на шариковые перемычки. Описываются конструкции таких СВЧ фильтров, проводится анализ влияния паразитных эффектов в корпусах CSSP на параметры СВЧ фильтров на ОПАВ. Исследуются особенности поведения частотных характеристик СВЧ фильтров в широком интервале рабочих температур от -60°C до +85°C. Расчеты и исследования подтверждаются экспериментальными характеристиками фильтра на частоту 1202 МГц (GLN L3). Приводятся частотные характеристики других широкополосных фильтров на частоты 1227, 1237, 1248, 1587 МГц в корпусах CSSP. Все перечисленные фильтры освоены в серийном производстве.

Для цитирования:

Орлов В.С. Миниатюрные фильтры на поверхностных акустических волнах с продольной связью резонаторов и сборкой по технологии "перевернутого кристалла" для аппаратуры навигационных систем ГЛОНАСС-GPS // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №4. – С. 40-50.

For citation:

Orlov V.S. Miniature longitudinally coupled resonator surface acoustic wave filters with "flip-chip" assembly technology for navigation systems GLONASS-GPS. T-Comm. 2015. Vol. 9. No.4, pp. 40-50. (in Russian).

Введение

Одним из путей снижения габаритов и массы приемной радионавигационной аппаратуры является использование интегральных модулей, объединяющих в одном корпусе несколько бескорпусных полупроводниковых кристаллов СВЧ и ПЧ усилителей или смесителей, а также бескорпусных кристаллов (пьезоэлементов) фильтров на оттекающих поверхностных акустических волнах (ОПАВ) для несущих и/или промежуточных частот. С точки зрения миниатюризации, оптимальным является монтаж на общей коммутационной керамической плате модуля как полупроводниковых кристаллов, так и пьезоэлементов фильтров по технологии «перевернутого кристалла» (Flip-Chip) посредством шариковых перемычек [1, 2, 3, 4]. Однако здесь существует ряд технических и организационных проблем.

Во-первых, СВЧ фильтр на ОПАВ является комплексным объектом, электрические параметры которого определяются совокупностью акустических явлений в пьезоэлементе и электромагнитных эффектов в корпусе [5,6]. В результате частотные характеристики СВЧ фильтра на ОПАВ сильно зависят от паразитных элементов (переходных сопротивлений, индуктивностей, емкостей, взаимосвязей между ними и т.д.) как самого пьезоэлемента, так и корпуса, в котором пьезоэлемент установлен, а также перемычек, соединяющих пьезоэлемент с корпусом. При моделировании СВЧ-фильтра на ОПАВ указанные паразитные элементы включаются в его схему и либо минимизируются, либо, наоборот, используются для формирования требуемых характеристик, особенно в широкой полосе частот. Поэтому оптимальных результатов можно добиться, если при проектировании используются совместимые программное обеспечение и макромодели интегрального модуля, фильтра на ОПАВ и его корпуса, а весь процесс проектирования сосредоточен в одной компании, что бывает чрезвычайно редко.

Во-вторых, предприятие, выпускающее интегральные модули с использованием бескорпусных компонентов, должно одновременно обладать по крайней мере частью операций как полупроводникового производства (например, установки полупроводниковых кристаллов на эвтектику или на шариковые перемычки), так и производства СВЧ фильтров на ОПАВ (например, резки групповых подложек на пьезоэлементы, зондового электрического контроля пьезоэлементов, установки пьезоэлементов на шариковые перемычки и т.д.). Таких предприятий или компаний в мире также крайне мало (например, TDK Corporation, Япония [1]; Samsung Electro-Mechanic, Ю. Корея [2]; бывший EPCOS, Германия [3], ныне также TDK Corporation; TriQuin Semiconductor, США [4]). Как правило, при сборке модулей СВЧ фильтры на ОПАВ не покидают гермозону, общую с другими операциями изготовления фильтров (EPCOS, Германия [3], Tai SAW Technology, Тайвань [6]).

В России подобные предприятия отсутствуют, и обычно финальная сборка модулей происходит на од-

ном предприятии, а корпуса модулей, полупроводниковые кристаллы и фильтры заказываются на других специализированных предприятиях. Если для полупроводниковых заказных кристаллов уже существует сравнительно хорошо отработанная система изготовления, поставки в виде заказных кристаллов, контроля и монтажа кристаллов в модули, то для кристаллов (пьезоэлементов) фильтров на ОПАВ такая система отсутствует. Это связано, во-первых, с большим разнообразием частот, типов, материалов и габаритов пьезоэлементов; во-вторых, с высокой чувствительностью поверхности пьезоэлементов и групповых пластин с ними к внешним воздействиям и загрязнениям, что заставляет проводить в ряде случаев дополнительную защиту пластин перед транспортировкой, например, фоторезистом, и затрудняет их резку и отмычку перед сборкой интегральных модулей; в-третьих, что самое главное, с невозможностью проведения достоверного входного контроля электрических характеристик пьезоэлементов на групповой пластине предприятием-сборщиком. Последнее объясняется тем, что во избежание электростатического пробоя, часть заземляющих и потенциальных контактных площадок электродных структур соседних пьезоэлементов на пластине соединены друг с другом дополнительными заземляющими перемычками, которые удаляются только после разрезки пластины на чипы. Кроме того, при зондовом контроле на пластине возникают иные, по сравнению с учтенными при моделировании, или дополнительные паразитные элементы и связи, в том числе между соседними структурами на пластине, искажающие реальные частотные характеристики пьезоэлемента.

Выходом из описанной ситуации может быть использование СВЧ фильтров на ОПАВ в миниатюрных корпусах типа CSSP (Ceramic Chip Size SAW Package) с габаритами от 2,0x2,5 мм до 0,8x1,1 мм и с монтажом пьезоэлемента в корпус по технологии "перевернутого" кристалла.

В этом случае фильтр представляет собой уже законченный объект, который транспортируется без дополнительной сложной защиты и параметры которого достоверно измеряются при входном контроле, а в его частотных характеристиках уже учтены необходимые паразитные элементы и связи в выбранном корпусе. Применение в интегральных модулях корпусированных СВЧ фильтров на ОПАВ с объемными (шариковыми) перемычками и "перевернутым" кристаллом вместо бескорпусных пьезоэлементов, но с проволочными перемычками имеет ряд дополнительных преимуществ.

Во-первых, использование "перевернутых" кристаллов в миниатюрных корпусах позволяет исключить длинные проволочные перемычки, работающие в СВЧ диапазоне как антенны и неизбежно увеличивающие уровень электромагнитной сигнала (ЭМС или "наводки") со входа на выход как в корпусе фильтра, так и в корпусе интегрального модуля. В результате снижения уровня "наводки" в фильтре с "перевернутым" кристаллом его избирательность увеличивается на 8-20 дБ

вплоть до 4-6 ГГц по сравнению с фильтром с проволочными перемычками.

Во-вторых, контактные площадки фильтра в корпусе CSSP размещены на обратной стороне его основания. Поэтому нет необходимости предусматривать контактные площадки по периметру фильтра на коммутационной плате интегрального модуля, как это неизбежно для соединения проволочными перемычками с бескорпусным пьезоэлементом. Таким образом, площадь, занимаемая на плате модуля фильтром в корпусе с "перевернутым" кристаллом, меньше площади бескорпусного пьезоэлемента с проволочными перемычками и контактными площадками по его периметру. Поскольку высота миниатюрных CSSP корпусов не превышает 0,7-0,8 мм, никакого колодца в коммутационной плате интегрального модуля для размещения СВЧ фильтра не требуется.

Следует также отметить, что СВЧ фильтры на ОПАВ в миниатюрных корпусах CSSP могут быть использованы и в качестве самостоятельных изделий для монтажа на поверхность печатных плат аппаратуры при условии наличия у потребителя высокого уровня технологических процессов сборки.

Описываются конструкции СВЧ фильтров на ОПАВ в миниатюрных корпусах с монтажом пьезоэлементов по технологии "перевернутого" кристалла для интегральных модулей профессиональной навигационной аппаратуры систем ГЛОНАСС – GPS различных диапазонов в интервале частот 1202-1600 МГц.

1. Выбор базовых структур фильтров

По своему функциональному назначению СВЧ фильтры на ОПАВ для навигационной аппаратуры можно разделить на две группы:

- узкополосные каналные фильтры для частотной селекции сигналов на несущих частотах в парциальных диапазонах, например, диапазонах L1, L2, L3, L5 навигационных систем ГЛОНАСС-GPS;

- широкополосные охватывающие фильтры для выделения комбинаций из нескольких парциальных диапазонов несущих частот в аппаратуре с совмещением систем ГЛОНАСС-GPS.

Границы диапазонов несущих частот для навигационных систем ГЛОНАСС-GPS-GALILEO определены различными международными соглашениями [7,8]. Распределение частот и полос пропускания каналных и охватывающих СВЧ фильтров на ОПАВ совпадает с распределением диапазонов несущих частот навигационных систем (рис. 1). Но с целью обеспечения неискажающей передачи сигналов в информационных полосах 13-16 МГц для коммерческой и 20 МГц для профессиональной аппаратуры, полосы пропускания СВЧ фильтров на ОПАВ должны быть расширены на величину температурных и технологических смещений их частот, что с учетом технологических погрешностей изготовления составляет от 7 до 11 МГц в зависимости от частоты 1100-1600 МГц.

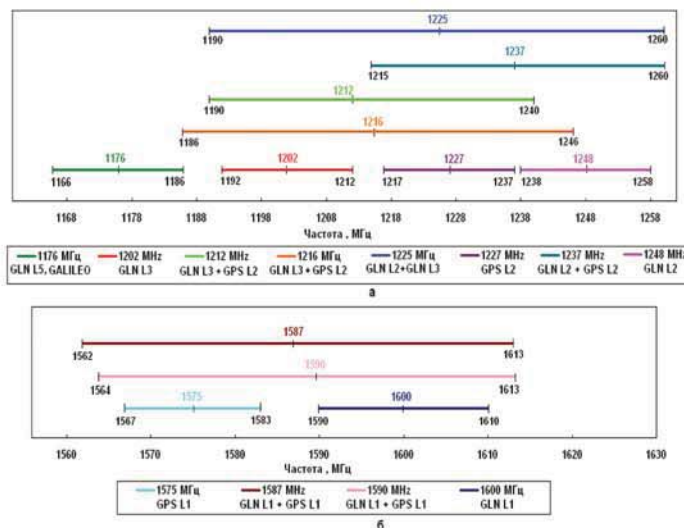


Рис.1. Распределение частот и полос пропускания узкополосных каналных и широкополосных охватывающих фильтров на ОПАВ: а – фильтры для диапазонов L2, L3, L5 ГЛОНАСС-GPS-GALILEO; б – фильтры для диапазонов L1 ГЛОНАСС-GPS

СВЧ фильтры на ОПАВ с малыми вносимыми потерями 1,5-3,5 дБ в диапазоне 1000-2500 МГц могут быть реализованы с использованием двух базовых структур:

- лестничные фильтры с электрической связью резонаторов (Ladder Resonator Filters-LDRF) [9];
- фильтры с продольной акустической связью резонаторов (Longitudinally Coupled Resonator Filters – LCRF) [10].

СВЧ фильтры с продольной акустической связью резонаторов сравнительно более широкополосные и обычно позволяют реализовать относительные полосы пропускания $BW1=(3,0-5,0)\%$ на подложках из танталата лития и до $(9,0-12)\%$ на подложках из ниобата лития стандартных кристаллографических ориентаций. При этом вносимые потери у LCRF обычно выше на 0,4-0,8 дБ чем у LDRF с той же полосой и избирательностью. Кроме того, управление шириной полосы пропускания с целью получения ее заданного значения в LCRF более затруднено, чем в LDRF.

Лестничные резонаторные фильтры на ОПАВ сравнительно более узкополосные и обычно позволяют реализовать относительные полосы пропускания $BW1=(1,0-3,5)\%$ на танталате лития и до 8,0% на ниобате лития. Кроме того, путем расстановки частот последовательных и параллельных резонаторов, у лестничных фильтров сравнительно легко варьировать ширину полосы пропускания при заданной неравномерности АЧХ и группового времени запаздывания (ГВЗ).

В итоге для реализации высокочастотных каналных фильтров с узкой относительной полосой для систем навигации выбирались лестничные фильтры с электрической связью резонаторов, а для реализации низкочастотных каналных фильтров и охватывающих фильтров с более широкой относительной полосой вы-

бирались фильтры с продольной акустической связью резонаторов.

В настоящей статье рассматриваются только сравнительно более широкополосные фильтры на ОПАВ с продольной акустической связью резонаторов (LCRF) для профессиональной навигационной аппаратуры.

Базовая структурная схема одного звена фильтра с продольной акустической связью симметричных первой и третьей мод ОПАВ в двухвходовом резонаторе приведена на рис. 2а. В таком резонаторе выходной встречно-штыревой преобразователь (ВШП) 2 разделен на две части, размещенные слева и справа от входного ВШП1, а стоячие акустические волны формируются отражательными решетками ОР1 и ОР2. Избирательность одного звена сравнительно невелика (около 15-30 дБ). Поэтому в фильтре обычно используется два или три таких звена, электрически соединенных последовательно (рис. 2в).

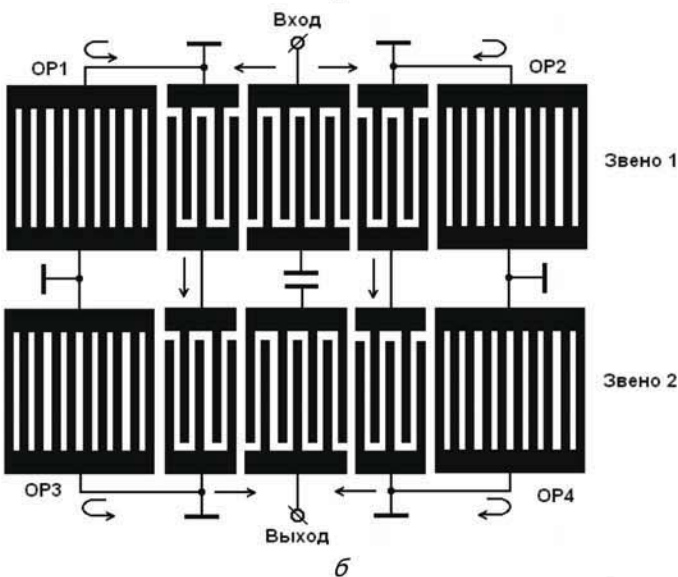
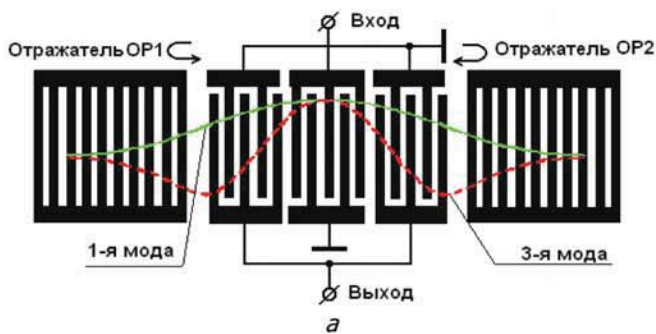


Рис. 2. Структурная схема фильтра с продольной акустической связью 1-й и 3-й мод ОПАВ:

а – одно звено; б – два последовательно включенных звена

Эквивалентная схема двухзвенного фильтра с продольной акустической связью первой и третьей мод оттекающих ПАВ, описывающая частотные характеристики фильтра вблизи полосы пропускания, приведена на рис. 3 [11]. На схеме рис. 3 в первом звене элементы R_{11} , C_{11} , L_{11} обозначают дискретные электрические

RLC эквиваленты первого резонатора для продольной моды 1, элементы R_{13} , C_{13} , L_{13} – дискретные электрические RLC эквиваленты второго резонатора для продольной моды 3; элементы R_{a1} , C_{T1} соответствуют сопротивлению излучения и статической емкости входного ВШП1; элементы R_{a2} , C_{T2} – сопротивлению излучения и статической емкости выходного ВШП2 [11]. Аналогичный смысл имеют и RLC-элементы с индексом 2 для второго звена. При необходимости, в схему каждого звена фильтра могут быть добавлены эквиваленты для других акустических мод, существующих в резонаторах, включая поперечные моды, а также электрические эквиваленты паразитных эффектов и связей, возникающих в фильтре на СВЧ.

Все рассматриваемые ниже фильтры для навигационных систем имели двухзвенную структуру с продольной акустической связью первой и третьей мод оттекающих ПАВ в каждом звене.

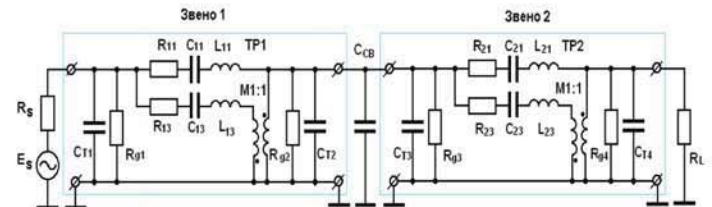


Рис. 3. Упрощенная эквивалентная схема двухзвенного фильтра с продольной акустической связью 1-й и 3-й мод ОПАВ

2. Выбор типов корпусов фильтров

Существует несколько типов миниатюрных корпусов типа CSSP для размещения пьезоэлементов ОПАВ со сборкой по технологии "перевернутого" кристалла. Все эти корпуса имеют основание из низкотемпературной [1] или высокотемпературной [2] керамики (Low Temperature Co-fired Ceramic – LTCC или High Temperature Co-fired Ceramic – HTCC), на лицевой поверхности которого внутри корпуса сформированы контактные площадки для соединения с пьезоэлементом через шариковые переключатели. На обратной стороне основания образованы контактные площадки для пайки корпуса на поверхность коммутационной платы модуля или блока аппаратуры, а в объеме основания созданы проводящие слои для коммутации между площадками на лицевой и внешней поверхностях, а также экранами и обечайкой в случае необходимости. Крышка корпуса может быть металлической (выпуклой для корпусов типа CSSP с размерами 2,5x2,0x0,8 мм, плоской для корпусов типа CSSP с размерами 2,0x1,6x0,65 мм или пластмассовой (выпуклой для корпусов с размерами 1,4x1,1x0,6 мм). В случае металлической крышки основание корпуса снабжается обечайкой для ее припайки.

Для размещения пьезоэлементов СВЧ фильтров с продольной акустической связью резонаторов ОПАВ для интегральных модулей профессиональной навигационной аппаратуры были выбраны миниатюрные корпуса типа CSSP, модель 96-TA03I-00, SENTEC, Тайвань (рис. 4).



Рис. 4. Миниатюрный корпус типа CSSP 2,0x1,6x0,65 мм для монтажа пьезоэлементов LCRF по технологии "перевернутого" кристалла: а – разрез корпуса; б – контактные площадки на основании внутри корпуса

Эти корпуса обладают приемлемыми габаритами, а пьезоэлемент отделен от плоской металлической крышки воздушным зазором. В отличие от корпусов с пластмассовой крышкой и диэлектрической прокладкой, имеющей механический контакт с пьезоэлементом [12], наличие воздушного зазора позволяет исключить передачу на пьезоэлемент интенсивных внешних температурных и механических воздействий, которым подвергается фильтр как в процессе изготовления интегрального модуля, так при его эксплуатации, особенно в профессиональной аппаратуре.

На рис. 5а изображена топология пьезоэлемента двухзвенного канального фильтра ФП-5022 1202В20 МГц для низкочастотного диапазона ГЛОНАСС L3, а рис. 5б приведена схема сборки этого пьезоэлемента по технологии "перевернутого" кристалла в корпус типа CSSP с размерами 2,0x1,6x0,65 мм. С целью наглядности, на схеме сборки вид перевернутого пьезоэлемента приведен "на просвет".

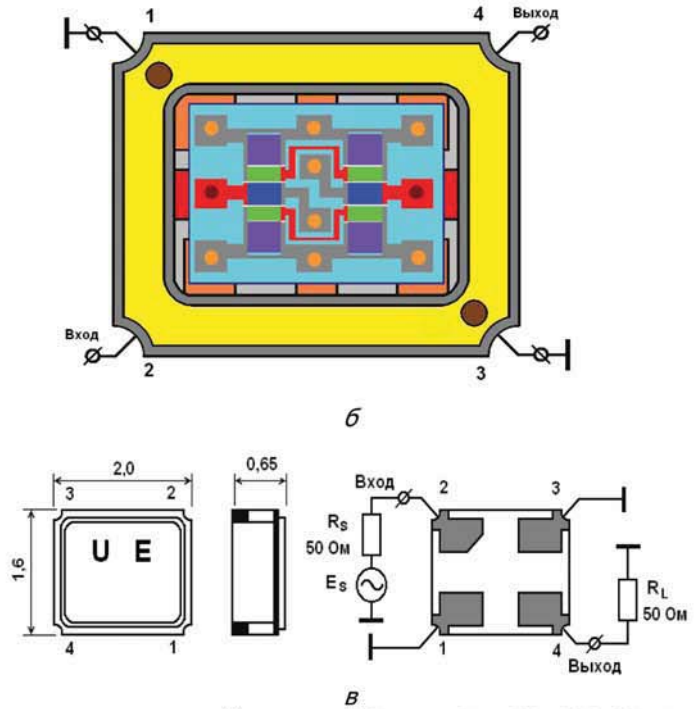
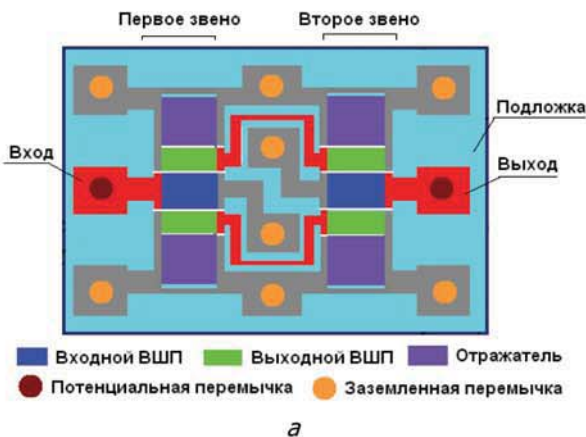


Рис. 5. Двухзвенный канальный фильтр ФП-5022 1202В20 МГц для низкочастотного диапазона GLN L3 в корпусе CSSP 2,0x1,6x0,65 мм: а – топология пьезоэлемента; б – схема сборки; в – схема включения

3. Паразитные эффекты на СВЧ

При размещении пьезоэлемента фильтра в керамическом корпусе в диапазоне СВЧ возрастает влияние ряда паразитных эффектов, эквиваленты для наиболее весомой части которых представлены на упрощенной схеме рис. 6. Эти эквиваленты условно отображают, например, для первого звена фильтра, следующее: C_1 и C_2 – емкости входной и выходной потенциальных контактных площадок звена относительно заземленного основания; C_{C1} – емкость связи между этими контактными площадками; L_{G1} и R_{G1} – индуктивность и сопротивление заземляющих перемычек; L_{P1} и L_9 – индуктивности потенциальных перемычек между площадками пьезоэлемента и корпуса и между звеньями фильтра соответственно; L_{PG1} и L_{G23} – индуктивности связи между потенциальными и заземляющими перемычками соответственно; $C_{ВХ}$ и $C_{ВЫХ}$ – входная и выходная емкости корпуса; C_{10} – емкость связи между входными и выходными потенциальными площадками корпуса и т.д.

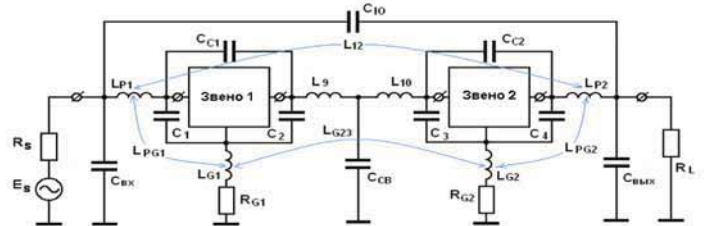


Рис. 6. Упрощенная схема двухзвенного фильтра на продольно связанных резонаторах с учетом паразитных элементов и связей на СВЧ в корпусе CSSP 2,0x1,6x0,65 мм

Как показывают расчеты на основе акустической модели Р-матриц для связанных резонаторов на ОПАВ и электрической макромодели эквивалентных схем для учета паразитных эффектов в фильтре, описанных в [5], величина емкости связи C_{10} и соотношение между емкостями C_{10} , $C_{ВХ}$ и $C_{ВЫХ}$ определяют избирательность фильтра в широкой полосе частот; сопротивления R_{G1} , R_{G2} и индуктивности L_{G1} , L_{G2} заземляющих перемычек влияют, в первую очередь, на затухание в полосе заграждения фильтра и величину вносимых потерь; индуктивности L_p потенциальных перемычек и паразитные емкости формируют дополнительные полюса затухания в полосе заграждения фильтра и т.д. Сравнение расчетных и измеренных частотных характеристик фильтра ФП-5022 1202В20 МГц показано на рис. 7.

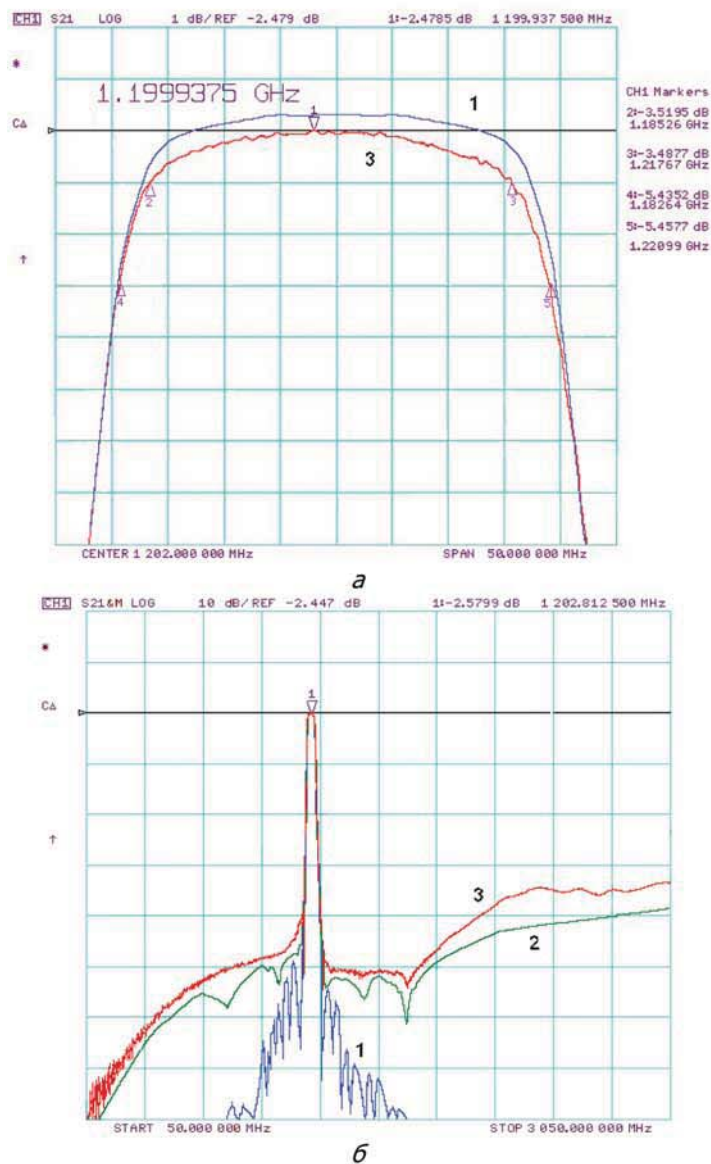


Рис. 7. Сравнение частотных характеристик фильтра ФП-5022 1202В20 МГц: а – в полосе пропускания; б – в широкой полосе частот (1 – расчет без учета паразитных эффектов; 2 – расчет с учетом паразитных элементов и связей по схеме на рис. 6; 3 – эксперимент)

Для расчетов значения RLC-эквивалентов, отображающих паразитные эффекты, в корпусах CSSP 2,0x1,6x0,65 мм и SMD 3,0x3,0x1,4 мм, уточнялись экспериментально.

Величины индуктивностей потенциальных и заземляющих шариковых перемычек, а также индуктивностей связей между этими перемычками, используемыми при монтаже пьезоэлементов по технологии "перевернутого кристалла" в корпусах типа CSSP, существенно меньше величин аналогичных индуктивностей проволочных перемычек, применяемых в корпусах типа SMD (Surface Mounted Device). Поэтому избирательность СВЧ фильтров с шариковыми перемычками в корпусах CSSP обычно на 5-12 дБ лучше фильтров аналогичной структуры, но в корпусах SMD с проволочными перемычками (рис. 8).

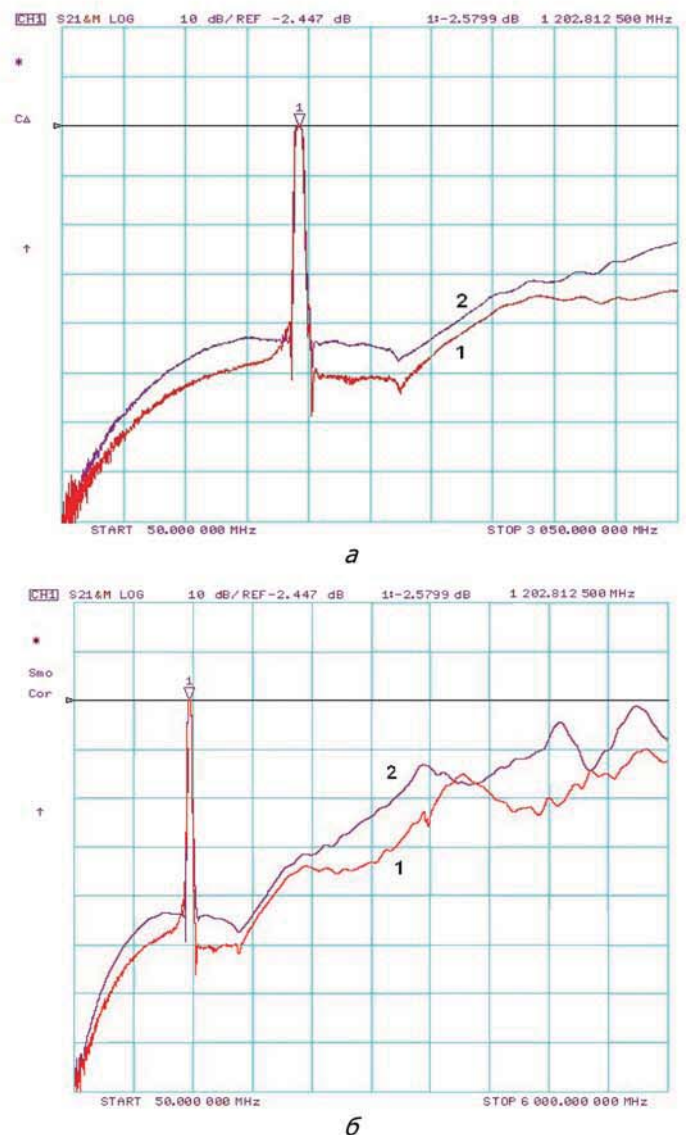


Рис. 8. Сравнение частотных характеристик S21 фильтров на частоте 1202 МГц: а – в диапазоне до 3 ГГц; б – в диапазоне до 6 ГГц (1 – фильтр ФП-5022 1202В20 МГц в корпусе CSSP 2,0x1,6x0,65 мм; 2 – фильтр ФП-590 1202В20 МГц в корпусе SMD 3,0x3,0x1,4 мм)

Преимущество по избирательности большинства фильтров с шариковыми перемычками увеличивается с ростом частоты вплоть до 4-5 ГГц (рис. 8), но при дальнейшем увеличении частоты до 6 ГГц это наблюдавшееся преимущество нивелировалось из-за влияния электромагнитной наводки в измерительном приспособлении с прижимными контактами [13].

Типичные частотные характеристики фильтра ФП-5022 1202В20 МГц показаны на рис. 9. Как к канальным, так и к охватывающим фильтрам для навигационных систем предъявляются жесткие требования по неравномерности ГВЗ в полосе пропускания. Поэтому форма АЧХ в полосе пропускания описываемых здесь фильтров оптимизировалась с целью уменьшения крутизны параболической составляющей неравномерности ГВЗ и имела вид, близкий к Баттервортовской кривой [14]. Мелкие пульсации параболической ГВЗ, обусловленные несинхронным сложением отражённых ОПАВ в резонаторах на разных частотах, снижались до 1-5 нс путем варьирования коэффициента металлизации в электродах резонаторов на ОПАВ.

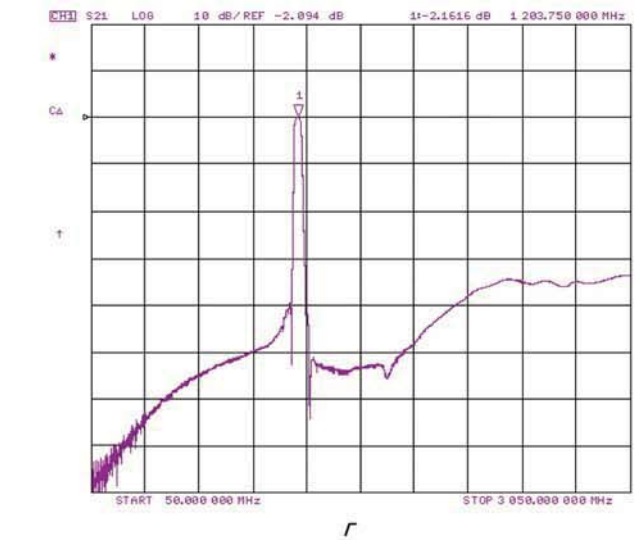
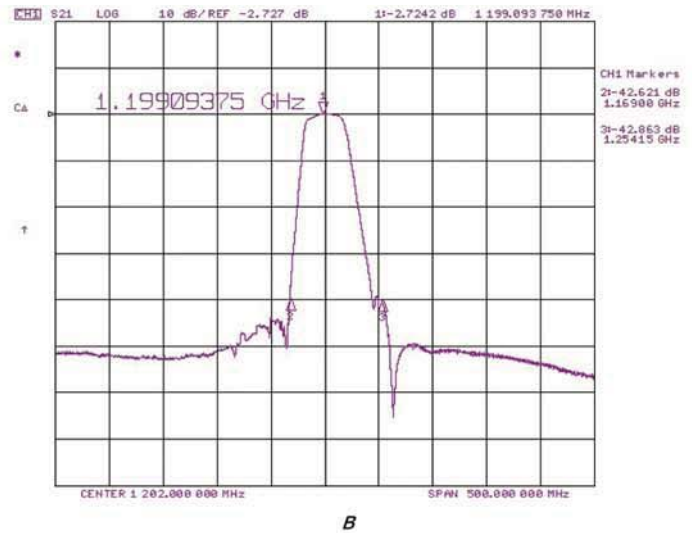
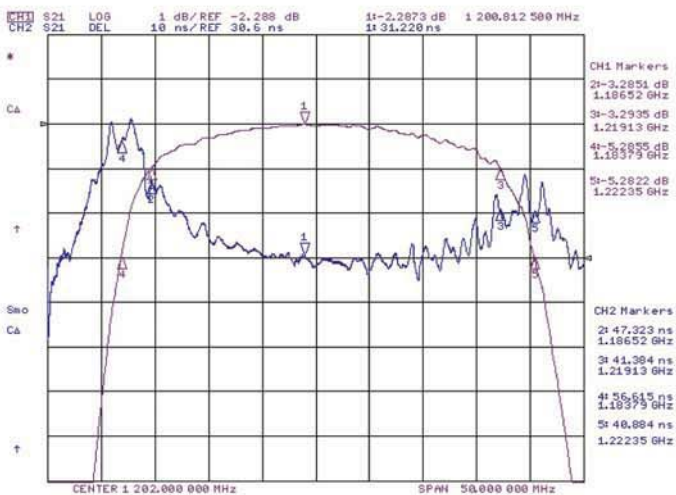


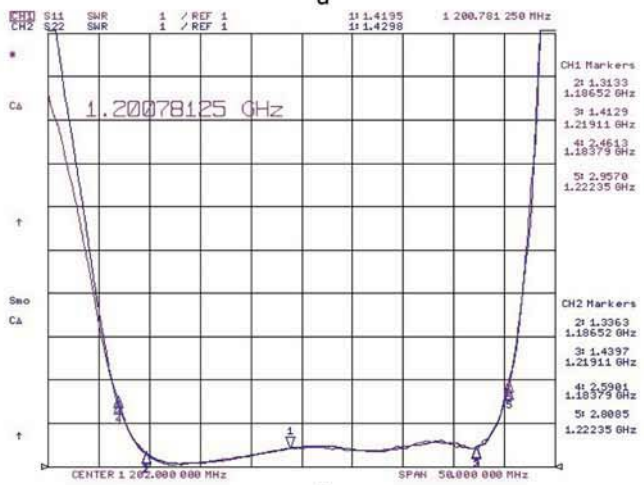
Рис. 9. Типичные частотные характеристики фильтра ФП-5022 1202В20 МГц: а, б – АЧХ и ГВЗ, КСВ в полосе пропускания; в, г – АЧХ в диапазонах 500 МГц и 3,0 ГГц соответственно

4. Температурно-частотные характеристики фильтров

Диапазон рабочих температур фильтров для профессиональной навигационной аппаратуры достаточно широк и обычно составляет от -60°C до +85°C. Поэтому с целью уменьшения температурной чувствительности характеристик в качестве материала подложки для всех типов фильтров использовался танталат лития температурностабильного среза $\alpha\lambda/42^\circ$ с теоретическим температурным коэффициентом частоты $TKЧ = -28$ ppm/°C для случая неметаллизированной поверхности. В рассматриваемых конструкциях фильтров толщина алюминиевой пленки электродов резонаторов составляла около 5% от длины акустической волны или 2500Å в фильтре на частоту 1202 Гц и уменьшалась до 1800Å в фильтре на частоту 1587 МГц. В результате измеренный ТКЧ фильтров, усреднённый по значениям на нижней и верхней граничным частотам полосы пропускания по



а



б

уровню -1,5 дБ, увеличивался пропорционально толщине пленки электродов со значения -31,7 ppm/°C для фильтра на 1587 МГц до значения -36,6 ppm/°C для фильтра на 1202 МГц. Наибольшему влиянию температуры подвержена характеристика затухания в полосе пропускания фильтра: АЧХ смещается, форма АЧХ искажается, вносимые потери увеличиваются с ростом температуры (рис.10а). Форма же ГВЗ в полосе пропускания фильтров практически не искажается (рис. 10б). Следует отметить, что ТКЧ для высокочастотного (ВЧ) ската АЧХ хуже на 2-5 ppm/°C по сравнению с ТКЧ для низкочастотного (НЧ) ската АЧХ(рис. 11). Например, измеренный для граничных частот

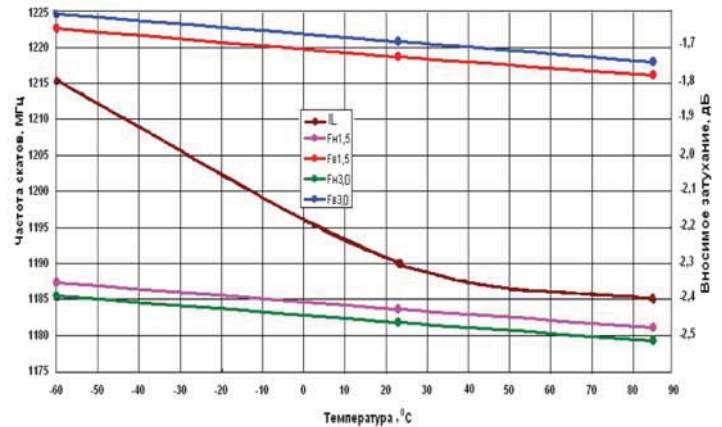


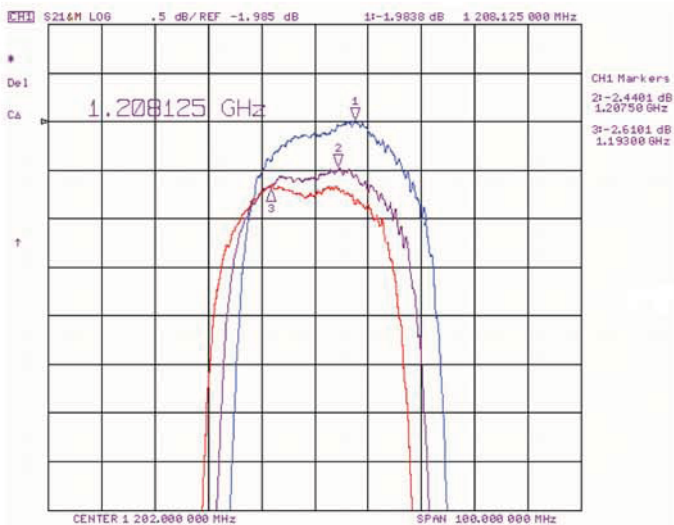
Рис. 11. Температурные зависимости вносимого затухания IL, границ ФН низкочастотного и FB высокочастотного скатов АЧХ фильтра ФП-5022 1202В20 МГц по уровням -1,5 дБ и -3,0 дБ

полосы пропускания по уровню -1,5 дБ в фильтре на 1202 МГц ТКЧ_{НЧ} составил -34,6 ppm/°C, а ТКЧ_{ВЧ} был равен -38,6 ppm/°C. В фильтре же на 1587 МГц соответствующие значения были ТКЧ_{НЧ} = -29,4 ppm/°C и ТКЧ_{ВЧ} = -34 ppm/°C. Такое различие в температурной чувствительности скатов может быть объяснено тем, что при изменении температуры АЧХ не только смещается, но ее скаты в полосе пропускания еще и “заваливаются”. Поскольку ВЧ скат АЧХ зависит не только от амплитуды 3-й моды ОПАВ в резонаторах фильтра, но и величины ее акустической связи с 1-й модой ОПАВ, то температурная чувствительность этого ската сильнее. Сравнение же температурной чувствительности фильтров на одинаковые частоты, но с разными способами монтажа (пьезоэлемент на шариковых перемычках в корпусах CSSP или пьезоэлемент на клею и с проводочными перемычками в корпусах SMD) показало, что ТКЧ фильтров с шариковыми перемычками обычно хуже на 2-3 ppm/°C из-за более жесткого закрепления пьезоэлементов на основании корпуса.

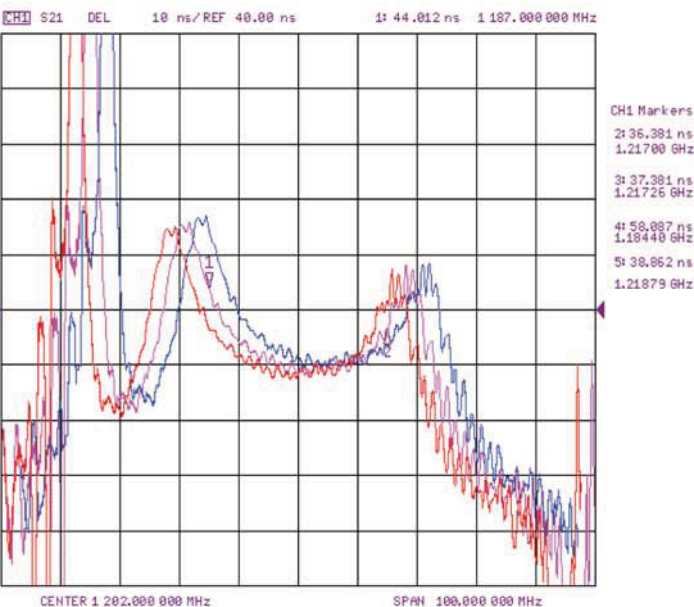
5. Частотные характеристики других фильтров ГЛОНАСС-GPS

На рис. 12 приведены частотные характеристики пары других узкополосных канальных фильтров ФП-5023 1227В20 МГц для диапазона GPS L2 и ФП-5021 1248В20 МГц для диапазона GLN L2. На рис. 13 показаны частотные характеристики пары охватывающих фильтров ФП-5025 1237В51 МГц для диапазонов GLN L2+GPS L2 и ФП-5024 1587В51 МГц для диапазонов GLNL1+GPS L1. Перечисленные фильтры также имели двухзвенную структуру из резонаторов на ОПАВ с продольной акустической связью, изготавливались на подложках из танталата лития среза $\chi_l/42^\circ$, а пьезоэлементы фильтров монтировались в корпусах типа CSSP 2,0x1,6x0,65 мм.

Закономерности и зависимости, а также преимущества и недостатки по сравнению с фильтрами в корпусах типа SMD, описанные выше для низкочастотного



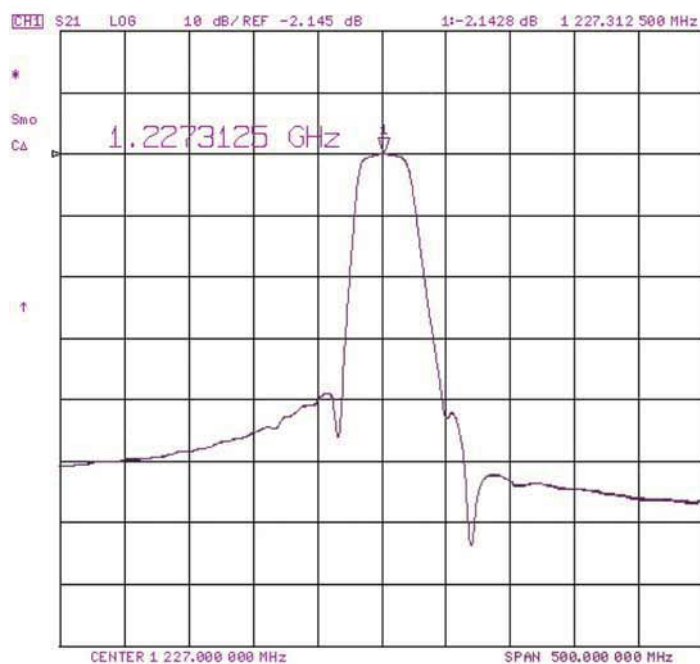
а



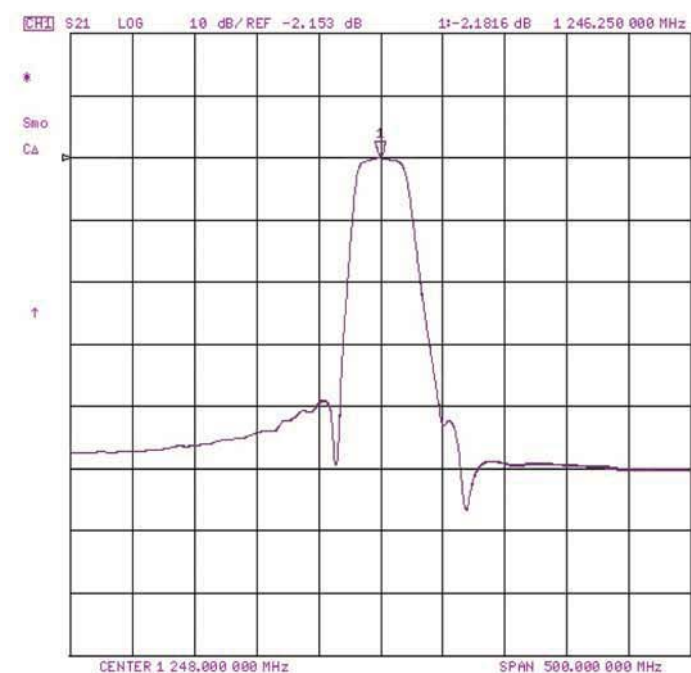
б

Рис. 10. Температурно-частотные характеристики фильтра ФП-5022 1202В20 МГц в полосе пропускания:
а – затухания; б – группового времени запаздывания
(1 – -60 °C, 2 – +20 °C, 3 – +85 °C)

фильтра ФП-5022, справедливы и для более высокочастотных фильтров ФП-5021, ФП-5023, ФП-5024 и ФП-5025. Более детально характеристики перечисленных фильтров приведены в [15].

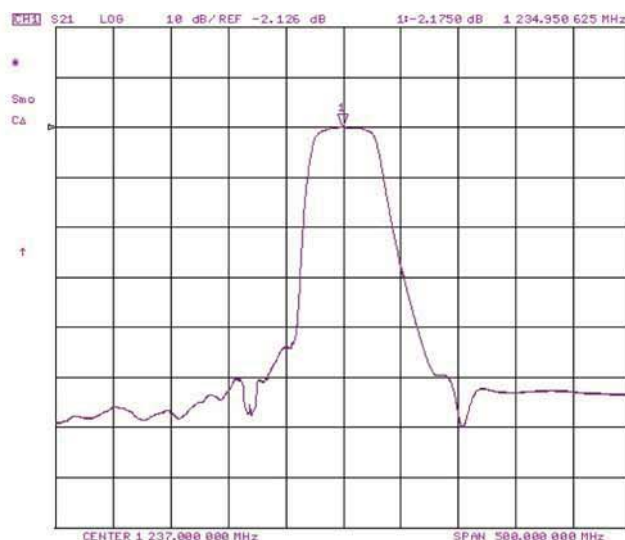


а

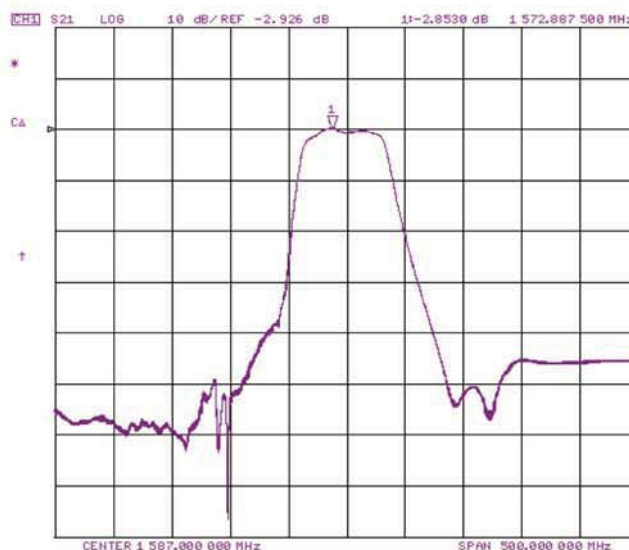


б

Рис. 12. Частотные характеристики канальных фильтров с гарантированными полосами 20 МГц:
а – ФП-5023 1227В20 МГц для диапазона GPS L2;
б – ФП-5021 1248В20 МГц для диапазона GLN L2



а



б

Рис. 13. Частотные характеристики охватывающих фильтров:
а – ФП-5025 1237В45 МГц для диапазонов GLN L2+GPS L2;
б – ФП-5024 1587В51 МГц для диапазонов GLNL1+GPS L1

Все описанные выше канальные и охватывающие фильтры для профессиональной навигационной аппаратуры освоены в серийном производстве.

Заключение

Для реализации низкочастотных канальных фильтров и широкополосных охватывающих фильтров профессиональной навигационной аппаратуры целесообразно использовать структуры с продольной акустической связью резонаторов ОПАВ, более широкополосные по сравнению с лестничными аналогами. Для целей миниатюризации аппаратуры оптимальным является применение в интегральных модулях бескорпусных полупроводниковых кристаллов и пьезоэлементов фильтров на ОПАВ, монтируемых на общей коммутационной плате по технологии "перевернутого кристалла". При

отсутствии на предприятии-сборщике модулей необходимых операций технологии

изготовления фильтров на ОПАВ выходом из положения может быть использование фильтра в виде законченного изделия в миниатюрном корпусе типа CSSP с монтажом пьезоэлемента по технологии "перевернутого кристалла". В таких корпусах с габаритами 2,0x1,6x0,75 мм разработаны каналные фильтры на частоты 1202, 1227, 1248 МГц и охватывающие фильтры на частоты 1225, 1237 и 1587 МГц. Фильтры с шариковыми перемычками в корпусах CSSP обычно превосходят аналогичные фильтры с проволочными перемычками в корпусах SMD по избирательности на 5-10 дБ, но на 2-3 ppm/°C уступают им по температурной стабильности.

Литература

1. *F. Uchikoba, T. Goi, N. Harada, S. Nakai.* Multi-Chip Module with Bare SAW Device, 2001 Proc. Int. Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication System Symposium, pp. 145-150.
2. *T. H. Kim* and other "Miniaturization and Optimization of RF SAW Filter Using Wafer Level Packaging Technology", IEEE 2007 Electronic Components and Technology Conference, pp. 574-579.
3. *P. Selmeier* and other, "Recent Advances in SAW Packaging", IEEE 2001 Ultrasonics Symposium Proc., pp.283-292.
4. *P.V. Wright.* Integrated Front-End Modules for Cell Phones // IEEE 2005 Ultrasonics Symposium Proc., pp. 564-572.
5. *A.N. Rusakov, V.S. Orlov, B. Chao and V. Lee.* Application of Modified P-Matrix Model to the Simulation of Radio Frequency LSAW Filters // IEEE 2001 Ultrasonics Symposium Proc., pp.7-11.

6. *S.H. Lin* and other. Full Wave simulation of SAW Filter Package and SAW Pattern inside Package // IEEE 2003 Ultrasonics Symposium Proc., pp. 2089-2092.

7. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.

8. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС / Под ред. В.А. Болдина, А.И. Перова, В.Н. Харисова. – М.: ИПРЖР, 1998. – 620 с.

9. *V.S. Orlov, A.L. Schwartz, V.B. Chvets, E.I. Fedorov and A.O. Kustova.* Design of High Selectivity Low-Loss Ladder Filters // IEEE 2004 Ultrasonics Symposium Proc., pp.56-60.

10. *V.B. Chvets, P.G. Ivanov, V.M. Makarov, V.S. Orlov.* Wide-band low-loss SAW filters for telecommunication and mobile radio applications // IEEE 1996 Ultrasonics Symposium Proc., pp.61-64.

11. *C.K. Cambell.* Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communication. – Academic Press, New York, 1998, 364 p.

12. EPCOS SAW Components. Tiny and sophisticated. Официальный сайт www.epcos.com, фирмы EPCOS Электронный ресурс]. Режим доступа: [html://epcos.com](http://epcos.com) / свободный (дата обращения: 18.02.2011).

13. *Туркин И.А, Сокольский В.В.* Высокочастотные контактно-измерительные приспособления для контроля частотных характеристик ПАВ-фильтров // Электроника НТБ №1, РИЦ "Техносфера", ISSN 1992-4178, 2012. – С. 44-50.

14. И.С. Гоноровский, "Радиотехнические цепи и сигналы". Радио и связь, М., 1986, 512 стр.

15. Фильтры на поверхностных акустических волнах. Официальный сайт www.saw-filters.ru лаборатории фильтров МТУСИ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [html://saw-filters/](http://saw-filters/) свободный (дата обращения: 18.02.2014).

XIX Международный Форум МАС

«Формирование инфокоммуникаций нового поколения в интересах устойчивого развития»

состоится 13 мая 2015 г.

в рамках деловой программы выставки «Связь–Экспокомм–2015» (Москва, ЦВК «Экспоцентр», павильон 7, конференц-зал)

Форум проводится в год 150-летия образования Международного союза электросвязи и 70-летия ООН.

На Форуме планируется обсудить вопросы, связанные с вступлением в действие нового Регламента международной электросвязи, стратегических планов и программ, принятых Всемирной конференцией по развитию электросвязи (апрель 2014 г.) под общим девизом «Широкополосная связь в интересах устойчивого развития», а также стратегической резолюции Полномочной конференции МСЭ (ноябрь 2014 г.), содержащей концепцию и общие цели развития сектора электросвязи/ИКТ в мире на период до 2020 г. и другие.

В рамках Форума состоится награждение лауреатов Профессиональной премии Международной академии связи «За вклад в развитие информационного общества России», лауреатов Молодежного конкурса инноваций и инновационных проектов – Новое поколение 2014/2015. Новое поколение, а также академиков МАС – ветеранов (к 70-летию Победы в Великой Отечественной войне).

Секретариат МАС: тел.: (495) 742-53-53, 742-17-72 факс: (495) 742-75-46 e-mail: info@ita.org.ru www.ita.org.ru

MINIATURE LONGITUDINALLY COUPLED RESONATOR SURFACE ACOUSTIC WAVE FILTERS WITH "FLIP-CHIP" ASSEMBLY TECHNOLOGY FOR NAVIGATION SYSTEMS GLONASS-GPS

Orlov V.S., Moscow, Russia, filtrov-pav@yandex.ru

Abstract

The designs and responses of radio frequency surface acoustic wave (SAW) filters for navigation systems GLONASS (GLN)-GPS are presented in paper. These filters may be used like narrow band devices to select signals in frequency ranges GLN L2, GLN L3, GPS L2 or like wide band devices to cover few frequency ranges GLN L1+ GPS L1 or GLN L2+ GPS L2. To decrease of filter size and to obtain of its wide pass band, basic structures with longitudinally coupled 1-st and 3-rd modes of leaky SAW in resonators were selected. It was shown, that VHF filters on LSAW, designed like completed object in miniature CSSP packages 2,0x1,6 mm and piezoelement, assembled by progressive "flip-chip" technology, is the optimal decision for application in integrated modules of equipment. The designs of such VHF filters is shown in details. The analysis of influence of parasitic effects in packages CSSP on VHF filter responses has been made. The behavior of frequency responses of filters in wide temperature range from -600C to +850C are investigated. The simulations and investigations are confirmed by experimental responses of filter on frequency 1202 MHz (GLN L3). The frequency responses of other wide band filters on 1227, 1237, 1248, 1587 MHz are demonstrated. All filter types are manufactured by serial production.

Keywords: navigation systems, integrated modules, surface acoustic wave filters, piezoelement, assembly by "flip-chip" technology.

References

1. Uchikoba F., Goi, T. Harada N., Nakai S. Multi-Chip Module with Bare SAW Device. 2001 Proc. Int. Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication System Symposium, pp. 145-150.
2. Kim T.H. and other. Miniaturization and Optimization of RF SAW Filter Using Wafer Level Packaging Technology. IEEE 2007 Electronic Components and Technology Conference, pp. 574-579.
3. Selmeier P. and other. Recent Advances in SAW Packaging. IEEE 2001 Ultrasonics Symposium Proc., pp. 283-292.
4. Wright P.V. Integrated Front-End Modules for Cell Phones. IEEE 2005 Ultrasonics Symposium Proc., pp. 564-572.
5. Rusakov A.N., Orlov V.S., Chao B. and Lee V., Application of Modified P-Matrix Model to the Simulation of Radio Frequency LSAW Filters. IEEE 2001 Ultrasonics Symposium Proc., pp.7-11.
6. Lin S.H. and other. Full Wave simulation of SAW Filter Package and SAW Pattern inside Package. IEEE 2003 Ultrasonics Symposium Proc., pp. 2089-2092.
7. GLONASS. Design and Functioning Principles / Editors: A. I. Perov and V.N. Kharissov. Moscow. Radio Technic, 2010. 800 p. (in Russian).
8. Global Navigation Satellite System GLONASS / Editors: V.A. Boldin, A. I. Perov and V.N. Kharissov. Moscow: IPRGR, 1998. 620 p. (in Russian).
9. Orlov V.S., Schwartz A.L., Chvetz V.B., Fedorov E.I. and Kustova A.O. Design of High Selectivity Low-Loss Ladder Filters. IEEE 2004 Ultrasonics Symposium Proc., pp.56-60.
10. Chvetz V.B., Ivanov P.G., Makarov V.M., Orlov V.S. Wideband low-loss SAW filters for telecommunication and mobile radio applications. IEEE 1996 Ultrasonics Symposium Proc., pp.61-64.
11. Cambell C.K. Surface Acoustic Wave Devices for Mobile and Wireless Communication. Academic Press, New York, 1998. 364 p.
12. EPCOS SAW Components. Tiny and sophisticated. EPCOS's official site www.epcos.com [Electronic Recourse]. Access conditions: <http://epcos.com> / Free (date of communication: 18.02.2011).
13. Turkin I.A., Sokolsky V.V. High Frequency Test-Fixture for SAW Filters Responses Control. Electronic NTB, No1, RIC "Techno Sphere. ISSN 1992-4178, 2012, pp. 44-50. (in Russian).
14. Gonorovsky I.S. Radio Technical Circuits and Signals. Moscow. Radio i Svyaz'. 1986, 512 p. (in Russian).
15. Surface acoustic Wave Filters. Official site www.saw-filters.ru, [Electronic Recourse] of MTUCI Filters Laboratory. Access conditions: <http://saw-filters.ru/>. Free (date of communication: 18.02.2015). (in Russian).

Information about author: Victor Orlov, doctor of sciences, Moscow Technical University of Communication and Informatics, Moscow, Russia.

For citation:

Orlov V.S. Miniature longitudinally coupled resonator surface acoustic wave filters with "flip-chip" assembly technology for navigation systems GLONASS-GPS. T-Comm. 2015. Vol 9. No.4, pp. 40-50. (in Russian).