Особенности проектирования узкополосных температурностабильных фильтров на поверхностных акустических волнах на резонаторах с поперечной акустической связью

Типичное значение относительной полосы пропускания темперратурностабильных фильтров на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с использованием поперечно-связанных резонаторов (ПСРФ) на кварцевых подложках обычно составляет от *BW* = 0,05 до 0,1%. Исследуются причины, ограничивающие полосу пропускания , и описываем некоторые особенности проектирования ПСРФ с более широкими полосами пропускания *BW* = (0,15-0,3)%, на кварце. Показано также, что можно расширить максимальную полосу пропускания до *BW* = (1,35%) для высокоизбирательных фильтров с комбинированной акустоэлектрической поперечной связью между резонаторами на основе нового , также температурностабильного материала- тетрабората лития (LBO). Результаты исследований иллюстрируются экспериментальными характеристиками ПСРФ четырех типов: 130 МГц полосой *BW* = 0,054%, 868 МГц с полосой *BW* = 0,18%, 248 МГц с полосой *BW* = 0,16%. Эти фильтры изготавливались на кварцевых подложках среза yxl/33,3 град. Фильтр на 71 МГц с полосой *BW* = 0,3% был изготовлен на LBO среза zyx/45 град.

Ключевые слова: *темперратурностабильные фильтры, поверхностные акустические волны, поперечно-связанные резонаторы.*

Орлов В.С., Шварц А.Л., Швец В.Б.

1. Введение

Сверх-узкополосные (BW = 0,05 – 0,1 %) фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ) широко используются в интервале частот от 70 до 1000 МГц и обычно строятся на основе поперечно-связанных резонаторов (ПСРФ). Они обладают высокой избирательностью UR = 50-60 дБ в полосе заграждения, хорошим коэффициентом прямоугольности АЧХ SF =1,5-1,8 и малыми вносимыми потерями IL = 2,5-6,0 дБ [1,2,3]. Необходимость реализации сверх-узкой полосы пропускания (BW = 0,05 – 0,1%) требует использования температурностабильных материалов подложек таких фильтров. В подавляющем большинстве случаев в качестве материала подложки применяются различные срезы кварца , обеспечивающие температурный коэффициент частоты ТКЧ = -(0,036-0,042) ppm/^{0}C^2. Однако малый коэффициент электро-механической связи кварца ограничивает достижение предельно широких полос пропускания таких фильтров.

В данной статье мы продолжили исследовать [4] причины, ограничивающие максимальные полосы пропускания многорезонаторных фильтров на кварце с относительно широкими полосами пропускания: акустическая или электрическая связь между резонаторами, согласование крайних резонаторов, нежелательные резонансы в полосе заграждения, коэффициент электромеханической связи ks материала подложки. Кроме того , рассмотрены возможности расширения достижимых полос пропускания ПСРФ за счет применения сравнительно нового темературностабильного материала – LBO, обеспечивающего температурный коэффициент частоты ТКЧ = -(0,3-0,6) ppm/^{0}C^2. При исследовании использовались две модели. Модифицированная модель эквивалентных схем Мэзона [5] применялась для расчета одиночного одно-входового резонатора или пары акустически связанных резонаторов как на основной, так и нежелательных модах. Модель эквивалентных лестничных цепей для монолитного кристаллического фильтра (МКФ) [6] была использована при расчете характеристик многозвенных ПСРФ.

2. Анализ многорезонаторных структур

2.1. Структуры с чисто акустической связью

Независимо от используемого материала подложки , многорезонаторные ПСРФ можно представить в виде четырехполюсника, образованного входным и выходным электроакустическими преобразователями (ЭАТ) и каскадно включенными акустическими резонаторами, соединенными между собой и ЭАТ посредством элементов акустической или электрической связи. Добротность акустических резонаторов среди других причин зависит и от коэффициента электромеханической связи ks материала подложки. Передаточная функция ПСРФ определяется частотно-зависимыми процессами во всех составляющих компонентах: преобразователях, резонаторах, элементах связи и согласующих цепях. При этом величина коэффициентов связи между соседними резонаторами зависит от требуемого вида передаточной функции фильтра (Чебышева, Баттерворта, Гаусса или другой) при заданных пульсациях амплитуды и группового времени запаздывания (ГВЗ) в полосе пропускания. Для корректности сравнения мы будем рассматривать фильтры только с баттервортовской передаточной функцией, имеющей минимальные пульсации амплитуды и максимально плоскую зависимость ГВЗ в полосе пропускания [7].

Рассмотрим сначала ограничения максимальной полосы пропускания, определяемые только свойствами бесконечной акустической системы с идентичными резонаторами при чисто акустической связи между ними. В узкой полосе частот два (три, четыре и т.д.) акустических резонатора в такой системе можно рассматривать в виде связанных электрических RLC резонаторов. Электрическая схема такой системы сходна со схемой для монолитного кристаллического фильтра. (рис. 1, 2). При одинаковых резонаторах нормированные коэффициенты связи между электрическими резонаторами будут $K_{ij} = C_i / C_{ij}$, где C_{ij} – эквивалентная емкость связи. Передаточная функция такой системы будет иметь ряд экстремумов на частотах связи f_m в полосе пропускания. Для фильтров порядков M = 2-6 число экстремумов равно числу M связанных резонаторов, а расстояния между экстремумами определяется величиной связи K_{ij} между ними. Будем считать, что расстояние между крайними экстремумами (частотами связи f_1 и f_M) равно полосе пропускания фильтра с M резонаторами, т.е. $\Delta F_M = f_M - f_1$.

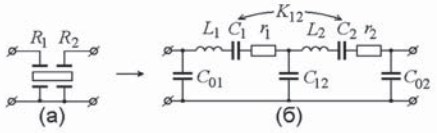

Рис. 1. Два акустически связанных резонатора (а) и их эквивалентная схема (б)

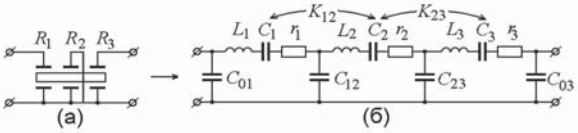

Рис. 2. Три акустически связанных резонатора (а) и их эквивалентная схема (б)

Можно показать, что в системе из двух связанных резонаторов ($M = 2$, рис. 1) полоса пропускания

$$\Delta F_2 = \Delta f_{12} = K_{12} \cdot f_0,$$

где f_0 – средняя частота фильтра, K_{12} – нормированный коэффициент связи между резонаторами в электрическом фильтре-прототипе [7].

В системе из трех связанных резонаторов (M =3, рис. 2) полоса пропускания

$$\Delta F_3 = \Delta f_{12} + \Delta f_{23} = f_0 \sqrt{K_{12}^{\ 2} + K_{23}^{\ 2}}\ .$$

Фильтр-прототип 3-го порядка ($M = 3$) с Баттервортовской передаточной функцией имеет соотношение нормированных коэффициентов связи $K_{12} : K_{23}$ = 0,707:0,707 [7] и поэтому полоса пропускания трех-резонаторной ситемы шире, чем в двухрезонаторной $\Delta F_3 = 1.41 \cdot \Delta F_2$.

В системе из четырех связанных резонаторов ($M = 4$) полоса пропускания

$$\Delta F_4 = \frac{f_0}{\sqrt{2}} \left\{ \left(K_{12}^{\ 2} + K_{23}^{\ 2} + K_{34}^{\ 2} \right) + \right.$$

$$\left. + \left[\left(K_{12}^{\ 2} + K_{23}^{\ 2} + K_{32}^{\ 2} \right)^2 - 4 \left(K_{12}^{\ 2} \cdot K_{34}^{\ 2} \right) \right]^{1/2} \right\}^{1/2}$$

Для реализации Баттервортовской передаточной функции необходимо иметь следующее соотношение нормированных коэффициентов связи $K_{12} : K_{23} : K_{34}$ =1,0:0,64:1,.0 [7] и поэтому $\Delta F_4 = 1{,}38\, \Delta F_2$.

С дальнейшим ростом числа резонаторов M >5-6 ряд экстремумов сливается в один и полоса пропускания ΔF_M системы практически не увеличивается.

Перейдем теперь от системы из связанных электрических резонаторов к ПСРФ с чисто акустической связью между пьезоэлектрическими резонаторами на ПАВ, заменяя нормированные коэффициенты связи между резонаторами K_{ij} на соответствующие коэффициенты акустической связи k_{ij} . Для ПСРФ величина акустической связи k_{ij} между двумя соседними резонаторами определяется расстоянием между ними в поперечном направлении. Обычно для частот 400-800 МГц это расстояние (шина + зазор + шина) составляет δ =1,0-1,2 λ_0 при апертурах резонаторов A = (4-8) λ_0 [5,9]. В этом случае максимальный коэффициент акустической связи составляет k_c =(0,14-0,18)% для фильтра на кварце срезов *yxl* /(33-42)° [5,8], а для LBO среза *zyx*/45° – порядка (0,25-0,3)%. Для более низких частот возможно уменьшение расстояния между резонаторами до $\delta = \lambda_0 / 4$, при этом коэффициент акустической связи возрастает до k_c =0,35% при A =4,6 λ_0 для кварца [10] и (0,45-0,55)% для LBO. Остановимся для оценки на для кварца максимальных коэффициентах связи k_c = 0,18% и k_c =0.35%, соответствующих типовым δ = 1,0 λ_0 и максимальным δ = 0,25 λ_0 возможностям фотолитографии.

В этом случае получаем следующие значения для максимальной относительной полосы пропускания $BW_M = \Delta f_M / f_0$ ПСРФ из резонаторов с чисто акустической связью на кварце: BW_2 = 0,18% (0.35%) для $M = 2$; BW_3 = 0,254% (0,494%) для $M = 3$ и BW_4 = 0,248% (0,483%) для $M = 4$. С учетом более низко добротных резонаторов для фильтров на LBO реализованные максимальные относительные полосы составляли BW_2 = 0,6% .

Таким образом, при заданной форме Баттервортовской передаточной функции максимальная полоса пропускания достигается для системы из $M = 3$ акустически связанных резонаторов. Дальнейшее увеличение числа резонаторов практически не вызывает расширения полосы пропускания. Для ПСРФ с чисто акустической связью полоса пропускания определяется возможностями фотолитографии и для M =3 может составлять BW_3 =0,7% на кварце и BW_3 =0,85 % LBO на частотах 400-800 МГц и может увеличиваться на более низких частотах.

2.2. Структуры с комбинированной акусто-электрической связью

2.2.1. Фильтры с емкостной электрической связью.

Недостатком ПСРФ с чисто акустической связью является тот факт, что с увеличением числа резонаторов величина акустической связи между резонаторами сильнее растет на частотах нежелательных резонансов в полосе заграждения, чем на частоте основной моды. Поэтому уровень нежелательных резонансов, определяемый возбуждением паразитных поперечных и продольных мод, также растет с увеличением числа резонаторов. Наличие нежелательных резонансов и является одной из причин ограничения максимально возможной полосы пропускания фильтра. Для ослабления нежелательных резонансов при проектировании ПСРФ обычно используют звенья только из двух ($M = 2$) или максимум трех ($M = 3$) акустически связанных резонаторов, заменяя акустическую связь между средними резонаторами электрической связью между звеньями, оптимальной только для основной моды. Эквивалентная схема ПСРФ с такой комбинированной акусто-электрической связью двух пар резонаторов представлена на рис. 3. Величины коэффициентов акустической связи k_{12} и k_{34} соответствуют аналогичным значениям в рассмотренной выше системе из четырех резонаторов с чисто акустической связью. Фактором, ограничивающим полосу пропускания фильтра с комбинированной связью, является коэффициент электрической (емкостной) связи между средними резонаторами 2 и 3 $k_{23} = C_i / 2C_0 \approx [(f_a - f_s) / f_a]$, где f_s и f_a – частоты резонанса и анти-резонанса соответственно, $2C_0 = (C_{02} + C_{03})$, C_{02} , C_{03} – статические емкости резонаторов. Для одно-входовых резонаторов на кварце срезов *yxl* /(33-42)° с апертурами A =(4-8) λ_0 обычно выполняется условие $C_i / 2C_{0i} \approx$0,03-0,034% [5, 11], т.е. k_{23} = (0,03-0,034)%, а для LBO по нашим экспериментам $C_i / 2C_{0i} \approx$0,3%, т.е. k_{23} = 0,3%.

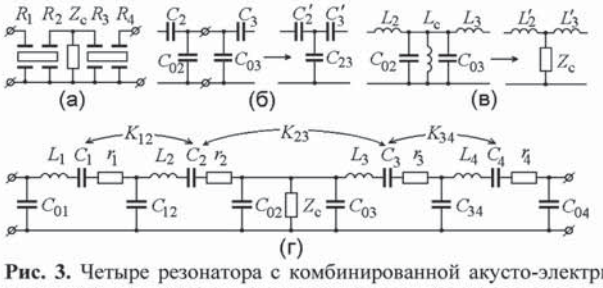

Рис. 3. Четыре резонатора с комбинированной акусто-электрической связью (а), трансформация элементов связи (б, в), эквивалентная схема связанных резонаторов (г)

Учитывая, что в фильтре-прототипе четвертого порядка $M = 4$, нагруженного на характеристическое сопротивление, нормированные коэффициенты связи соответственно равны $K_{12} : K_{23} : K_{34}$ = 0,84:0,54:0,84 [7] или $k_{12} : k_{23} : k_{34}$ = 0,053%: 0,034%:0,053%, получаем максимальную полосу пропускания BW_4 = 1,85 k_{23} = 0,0556% для кварца, а для LBO k_{23} = 0,56 %. Наличие емкости C_A корпуса, соединяемой параллельно с C_{02} и C_{03} , еще больше ограничивает реальную полосу пропускания фильтра.

2.2.2. Фильтры с модифицированной емкостной связью.

Может быть использовано несколько методов расширения полосы пропускания, ограниченной величиной емкостной

связи: модификация нормированных коэффициентов в фильтре-прототипе, полная компенсация емкости связи C_{23} внешней катушкой индуктивности и замена емкостной связи на индуктивную.

В соответствии с первым методом в фильтре-прототипе четвертого порядка при фиксированном значении коэффициента связи K_{23} = 0,54 можно увеличить связи между крайними резонаторами до $K_{12} = K_{34}$ = 1,5-1,9, сохраняя требуемую величину пульсаций амплитуды и GDT. При этом передаточная функция отклоняется от идеальной Баттервортовской, так как коэффициент формы $SH = BW40/BW3$ ухудшается, а вносимые потери возрастают в связи с проблемами согласования, которые будут обсуждены ниже. Расчеты показывают, что для полос пропускания BW_4 (= 0,04-0,125) % на кварце вносимые потери линейно изменяются от IL = 2,7 дБ до IL = 6,5 дБ соответственно. При этом коэффициент формы ухудшается от SH = 3,2 для идеальной Баттервортовской функции до SH =4,0 для квази Баттервортовской функции. Таким образом, можно считать, что максимальная полоса пропускания кварцевого фильтра с комбинированной акусто-электрической связью из пары двухрезонаторных звеньев без дополнительных внешних элементов связи составляет $BW_{4\max}$ = 0,125% при приемлемых вносимых потерях IL = 6,5 дБ. Аналогично можно показать, что для фильтра с комбинированной связью пары трех-резонаторных звеньев $BW_{6\max}$ ≈0,18% при IL = 6,0 dB на кварце и $BW_{6\max}$ ≈ 0,68% при IL = 6,0 дБ на LBO.

2.2.3. Фильтры с компенсированной емкостной связью.

Компенсация емкости связи $C_c = 2C_{0i}$ проводится на средней частоте фильтра ω_0 путем параллельного подключения внешней катушки индуктивности (рис. 3). При резонансе на частоте f_0, т.е. при $\omega_0 L_c = 1/\omega_0 C_c$, сопротивление связи будет чисто активным $Z_c = Q_c/\omega_0 \cdot 2C_{0i}$. В этом случае коэффициент связи между электрическими резонаторами 2 и 3 будет $k_{23} = Z_c/Z_{ci} = Q_c \cdot C_i/2C_{0i}$, или k_{23} = 1,36% при Q_c = 40.

Отсюда следует, что при использовании катушки индуктивности фактором, ограничивающим полосу пропускания фильтра, будут максимальные коэффициенты акустической связи между крайними резонаторами $k_{12} = k_{23} = k_c$ = 0,35%, а не электрическая связь между средними резонаторами. Сохраняя соотношение $K_{12} : K_{23} : K_{34}$ = 0,84:0,54:0,84 [7] или $k_{12} : k_{23} : k_{32}$ = 0,35%:0,.225%:0,35% для передаточной функции Баттерворта, получаем максимальную полосу пропускания двухзвенного фильтра с парой резонаторов в звене и компенсирующей катушкой индуктивности L_c между звеньями на кварце: $BW_{4\max}$ = 1,85·0,225 = 0,42%. Для фильтра из пары трехрезонаторных секций максимальная полоса пропускания будет $BW_{6\max}$ = 0,43% на кварце.

2.3. Ограничения полосы пропускания, связанные с согласованием крайних резонаторов

Выходное сопротивление ПСРФ на кварце и LBO составляет обычно $|Z_{out}|$ = 0,5-3 кОм. Поэтому для согласования со стандартной нагрузкой 50 Ом приходится использовать трансформацию импеданса 50 Ом во входное сопротивление согласующей цепи R_T, которое должно быть близко к $|Z_{out}|$. Будем считать, что нагрузкой выходного ЭАТ (последнего резонатора) является параллельная согласующая катушка L_M и активное сопротивление согласующей цепи R_T (рис. 4).

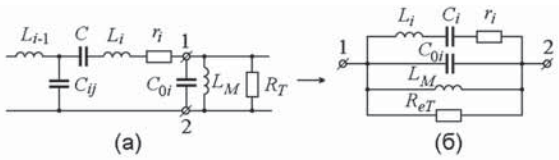

Рис. 4. Нагруженный крайний резонатор(а) и его эквивалентная схема (б)

Полагая, что образовавшиеся последовательный (акустический) контур $L_i - C_i - r_i$ с добротностью $Q_A = \omega_0 L_i / r_i$ и параллельный (электрический) контур $L_M \parallel C_0 \parallel R_T$ с добротностью $Q_E = r_i \omega_0 \tau_0$ настроены на одну частоту, можно показать, что последовательный контур нагружен на чисто активное сопротивление $R_{TE} = R_T \parallel R_{0E}$, где $R_{0E} = Q_E / \omega_0 C_{0i}$, а добротность эквивалентного акустического контура уменьшилась до значения $Q_{AE} = Q_A \cdot r_i / (r_i + R_{TE})$. Поэтому полоса пропускания эквивалентного акустического контура, образованного выходным резонатором-преобразователем, которая должна быть равна допустимой полосе пропускания фильтра, возросла до значения
$BW = f_0 / Q_A (r_i + R_{TE}) / r_i \approx (f_0 / Q_A) \cdot [1 + (C_i / C_0) \cdot Q_E Q_A]$

Таким образом, максимальная полоса пропускания фильтра, которая может быть согласована со входным сопротивлением согласующей цепи при минимальных пульсациях амплитуды, зависит не только от параметров L_i, C_i, C_0 резонатора, но и от добротности Q_E согласующего электрического контура. Расчеты показывают, что минимальные пульсации амплитуды вследствие рассогласования реализуются в интервале температур, если выполняется условие $Q_E \le (0.1 - 0.2) Q_{AE}$. В этом случае с учетом емкости C_A корпуса максимальная полоса фильтра составляет $BW_{\max} \le (Q_E \cdot f_0) \cdot C_i / (C_{0i} + C_A)$. Для резонаторов на кварце в корпусах SMD обычно $C_i / C_{0i} \approx 0{,}068\%$ и $C_A \approx 3C_{0i}$. При типовой добротности внешней катушки $Q_E = 40$ получаем $BW_{\max} \approx 0{,}6\%$ и $BW_{\max} \approx 0{,}28\%$ соответственно без учета и с учетом влияния температуры. Обе величины существенно больше ограничения из-за акустической связи. Для LBO эти влияние температуры в несколько раз выше.

Таким образом, в ПСРФ с комбинированной связью без компенсации емкости связи максимальная полоса пропускания ограничена только величиной электрической связи между резонаторами. При использовании компенсации емкости связи полоса пропускания фильтра ограничена величиной акустической связи.

3. Экспериментальные результаты

Указанные выше ограничения на максимальную полосу ПСРФ с различными видами связи между резонаторами проверялись экспериментально. На рис. 5 представлены частотные характеристики |S21| фильтра 130 МГц с полосой пропускания по уровню –3 дБ равной BW = 70 кГц (0,054%), изготовленного на кварце в корпусе SMD 13,3x6,5x1,8 мм. Фильтр состоял из трех секций по паре акустически связанных резонаторов в каждой из них. Внешние элементы электрической связи между секциями не использовались.

В другом фильтре (рис. 6) из трех резонаторов с чисто акустической связью на кварце на частоте 868 МГц была реализована полоса пропускания BW = 1,47 МГц (0,18%) в корпусе SMD3,8x3,8x1,4 мм.

Как описывалось ранее [4], максимальная полоса пропускания на кварце BW = 0,81 МГц (0,28%) была реализована в фильтре с чисто акустической связью трех резонаторов на частоте 315 МГц.

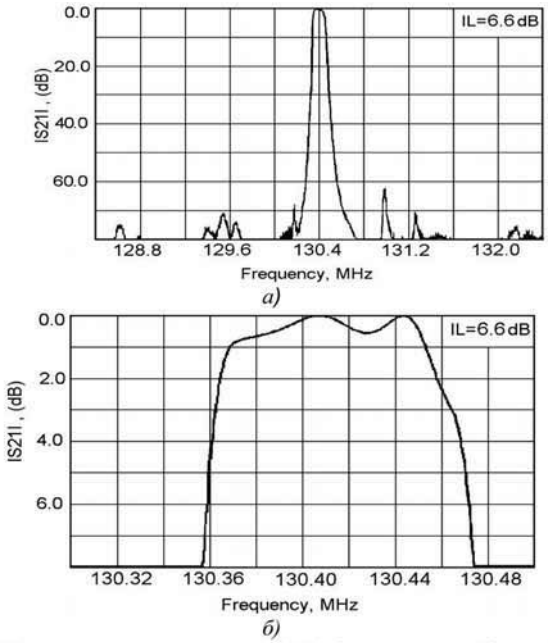

Рис. 5. Частотные характеристики $|S21|$ фильтра для мобильной системы связи на 130 МГц и BW = 0,054% с акусто-электрической связью шести резонаторов

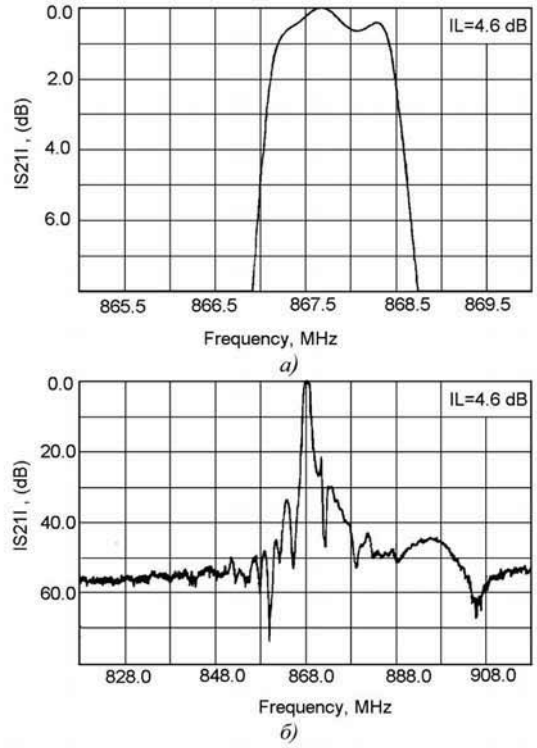

Рис. 6. Частотные характеристики $|S21|$ фильтра для сигнализации на 868 МГц и BW = 0,18% с акустической связью трех резонаторов

Для дальнейшего расширения полосы пропускания возможно использование материала с большим коэффициентом электро-механической связи k_s. На рис. 7 показана частотная характеристика $|S21|$ для фильтра на частоту 248 МГц, изготовленного фирмой KYOCERA на LBO [9] для радиотелефона стандарта PHS. Как видно из рис. 7, реальная полосе пропускания фильтра BW = 0,62 МГц (2,5%) на LBO значительно превосходит по необходимую величину BW = 220 кГц. Это связано с тем, что у резонаторов на LBO по сравнению с кварцем значительно больше уходы частот в диапазоне температур.

На рис. 8 представлены экспериментальные зависимости ухода частоты резонаторов в диапазоне температур от -60˚С до +85˚С для кварцевых и LBO резонаторов.

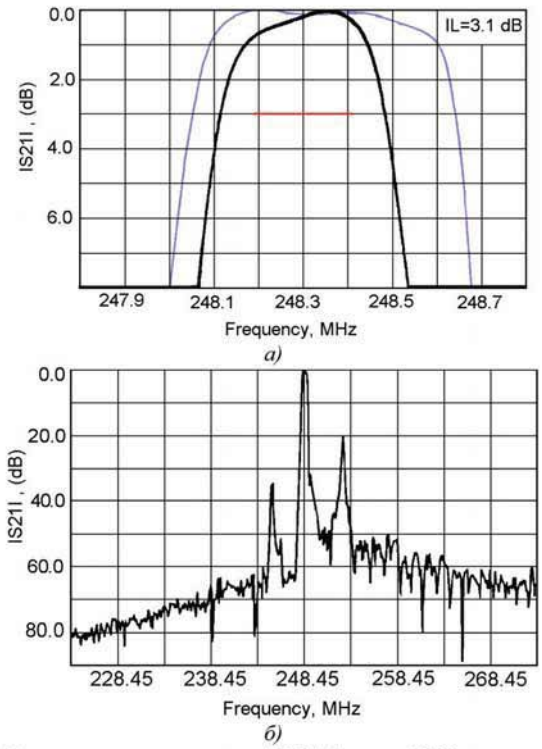

Рис. 7. Частотная характеристика $|S21|$ фильтра PHS на 248 МГц на LBO

Для фильтра на частоту 248 МГц на LBO уход частоты при +65˚С составляет величину порядка –175 кГц по сравнению с 15 кГц на кварце, т.е. с учетом технологических запасов необходимая полоса фильтра на LBO приближается к 600 кГц. В результате расширения полосы пропускания возросли фазовые шумы системы с фильтром на LBO .

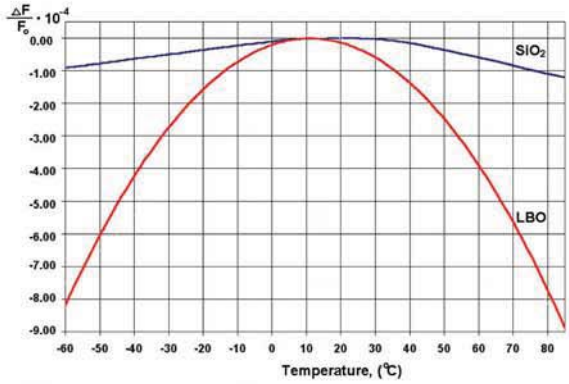

Рис. 8. ТКЧ резонаторов на LBO и кварце

Для уменьшения уровня фазовых шумов и улучшения температурной стабильности , нами была предпринята попытка реализовать фильтр PHS на кварце.

На рис. 9 для сравнения показана частотная характеристика $|S21|$ для фильтра, разработанного нами на частоту 248 МГц с чисто акустической связью четырех резонаторов на кварце. Полоса пропускания составляла BW = 352 кГц (0,16%) и была ограничена необходимостью подавления нежелательных резонансов до -40 дБ и более в широкой полосе частот.

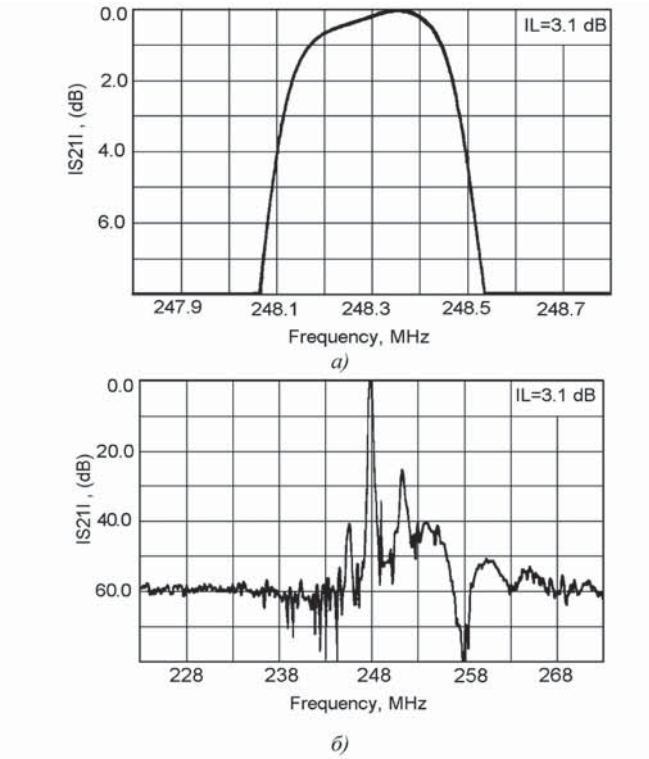

Рис. 9. Частотная характеристика $|S21|$ фильтра PHS на 248 МГц с акустоической связью четырех резонаторов на кварце.

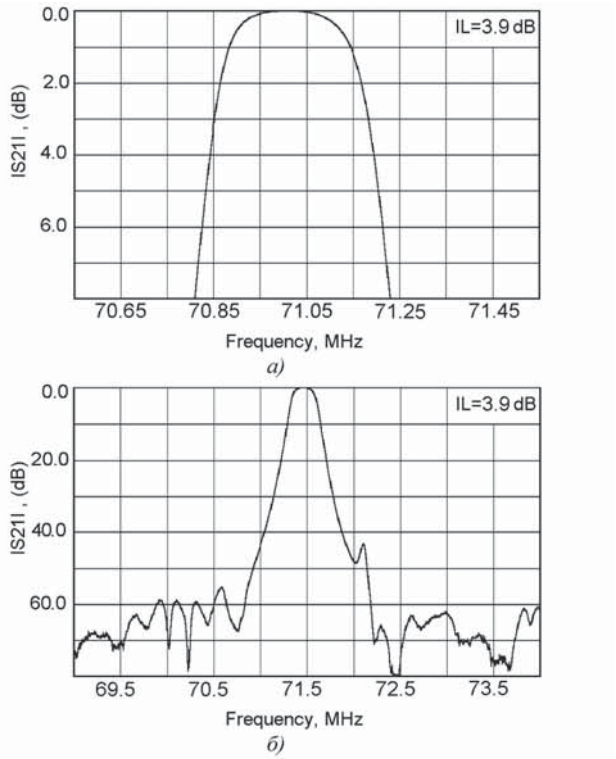

Рис. 10. Частотная характеристика $|S21|$ GSM фильтра на 71,6 МГц с BW = 0,3% на LBO

Оба варианта фильтра 248 МГц располагались в керамических корпусах SMD3,8x3,8x1,4 мм. Тем не менее, LBO является отличным материалом для более широкополосных фильтров с BW = 0,3-0,5%. На рис. 10 показана частотная характеристика $|S21|$ для сверх миниатюрного фильтра GSM на частоту 71.6 МГц с полосой пропускания BW = 220 кГц (0,3%) на LBO в корпусе SMD7,0x5,0x1,6 мм.

4. Заключение

При заданной Баттервортовской форме передаточной функции максимальная полоса пропускания ПСРФ из двух акустически связанных резонаторов может составлять BW_2 / f_0 = 0,35% на кварце и BW_2 / f_0 = 0,7% на LBO при зазоре $\delta = \lambda_0 / 4$ и определяется возможностями фотолитографии. Наибольшая ширина полосы пропускания BW_3 = 0,494% на кварце и BW_2 / f_0 = 0,9% на LBO и может быть реализована в трех-резонаторных ПСРФ с чисто акустической связью. Полосы BW_4 = 0,483% и BW_5 = 0,478% могут быть достигнуты в ПСРФ с чисто акустической связью четырех и пяти резонаторов соответственно на кварце. Наличие нежелательных резонансов в полосе заграждения ограничивает реальную полосу пропускания примерно в два раза. Для LBO BW_4 может достигать величины (3-4)%, т.е. в несколько раз шире, чем для кварца. Применение катушки индуктивности позволяет расширить полосу пропускания четырехрезонаторного ПСРФ до BW_4 =0,317% для функции Баттерворта и до BW_4 =0.493% для квази-Баттервортовской функции, без учета температурных ограничений.

Структура ПСРФ на основе кварца с комбинированной связью четырех резонаторов без дополнительных элементов электрической связи позволяет достигнуть полосы пропускания BW_4 = 0,0556% для идеальной функции Баттерворта и BW_4 =0,125% для квази-Баттервортовской функции с оптимизированными коэффициентами связи K_{ij}.

В ПСРФ на основе нового материала LBO возможно получить полосу пропускания порядка BW_4 = 1,0% без применения навесных катушек индуктивности для компенсации емкости связи.

Литература

1. **J. Tsutsumi, O. Ikata and Y. Satoh.** Ultrason. Symp. Proc., 1996. - pp.65-69.
2. **M. Solal.** Joint Meeting EFTF-IEEE IFCS, 1999. - pp. 945-949.
3. **T.W. Johannes.** Joint Meeting EFTF-IEEE IFCS, 1999. - pp. 936-940.
4. **V.B. Chvets, A.L. Schwarz ,V.S. Orlov and E.I.Fedorov.** Ultrason. Symp. Proc., 2002. - pp.79-82.
5. **V.B. Chvets, V.S. Orlov, A.N. Rusakov and A.L. Schwarz.** Ultrason. Symp. Proc., 2000. - pp.79-82.
6. **А.Л. Шварц, Т.Е. Николаева.** Техника средств связи: «Средства связи», 1986, №2. - С.65-71.
7. **G.E.Hanscell**. "Filter Design and Evaluation", Van Nostrand Reinnold Company, New-York, 1969.
8. Specification KFS of KYOCERA for 248 MHz PHS filter .
9. **M. Tanaka, T. Morita, K. Ono and Y. Nakazawa.** 38th Annual Frequency Control Symposium, 1984. - pp.286-293.
10. **D.C. Malocha, B.P. Abbott and S.M. Knapp.** Ultrason. Symp. Proc., 1997. - pp.1-4.

Features of design of the narrow-band temperaturestable filters on the superficial acoustic waves on resonators from the cross-section acoustic communication

Orlov V.S., Schwarz A.L., Shvets V.B.