

ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КОНТАКТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

КОНТРОЛЬ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАВ-ФИЛЬТРОВ

И. Туркин, к.т.н. stor007@bk.ru, В. Сокольский, к.т.н.

Несмотря на обилие различных средств измерений, высокотехнологичный сектор электронной промышленности остро нуждается в недорогих, стойких к воздействию пониженных и повышенных температур, простых технических решениях, обеспечивающих многократное неразрушающее подключение к ним радиокомпонентов. Решения, предлагаемые производителями измерительного оборудования, обладая высоким качеством, как правило, очень дороги и имеют узкоспециализированное применение. Поэтому актуальность альтернативных решений для подключения четырехполюсников к существующему измерительному оборудованию по-прежнему высока. Как правило, фирмы и организации, которым приходится контролировать электрические параметры компонентной базы, имеют собственные эксклюзивные наработки, однако новых публикаций о конкретных инженерных решениях этой проблемы немного. Вот почему представляют интерес опыт и базовые принципы конструирования и изготовления ВЧ контактно-измерительных приспособлений (КИП) для измерения частотных характеристик фильтров на ПАВ с избирательностью до 70 дБ в диапазоне температур от -60 до 85 °С.

Согласно ГОСТ 24375, все типы фильтров на ПАВ можно условно разделить по частотному признаку на две группы: метрового (30–300 МГц, ОВЧ) и дециметрового (300–3000 МГц, УВЧ) диапазонов [1]. За пределами этих частот ПАВ-фильтры практически не используются по технологическим причинам. Контактные устройства для их подключения к средствам измерения также целесообразно поделить на два соответствующих типа, различающихся конструктивным исполнением и степенью экранирования:

- устройства ОВЧ-диапазона, допускающие использование микрополосковых линий печатных плат и согласующих цепей. Они могут применяться для тестирования

фильтров в металлостеклянных и металло-керамических SMD-корпусах [2];

- устройства УВЧ-диапазона с 50-Ом трактом на базе жестких волноводных соединений, не предполагающих использование согласующих элементов. Применяются для тестирования фильтров в SMD-корпусах малого размера (менее 1,5×5,0×5,0 мм) и в новейших корпусах, монтируемых методом перевернутого кристалла (Flip-Chip) с габаритами не более 0,6×1,6×2,0 мм.

НЕМНОГО ТЕОРИИ

Для более полного рассмотрения вопроса стоит вспомнить базовые принципы построения коаксиальной и микрополосковой линий с заданным

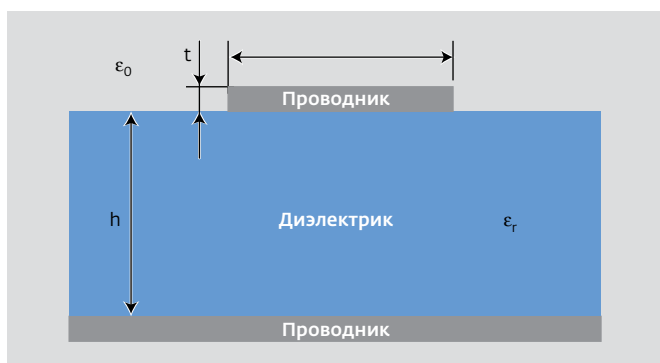


Рис.1. Структура микрополосковой линии

волновым сопротивлением. Конструкция микрополосковой линии чрезвычайно проста – металлический проводник шириной W и толщиной t , нанесенный на обеспечивающую жесткость конструкции диэлектрическую подложку толщиной h с относительной проницаемостью ϵ_r , на внешнюю поверхность которой осажден слой металла (рис.1). Опустим достаточно громоздкие выводы формул, которые можно найти в соответствующей литературе [3], и пренебрежем достаточно малой толщиной проводника ($t \approx 0$). Тогда при $\epsilon_r < 16$ и отношении $W/h < 1$ для волнового сопротивления Z_w микрополосковой линии будет справедливо выражение [3]:

$$Z_w = (60 / \sqrt{\epsilon_{эфф}}) \cdot \ln[(8h / W) + 0,25(W / h)], \quad (1)$$

где $\epsilon_{эфф} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} + 0,041 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right]$.

Диэлектрическая проницаемость ϵ_r стеклотекстолита FR-4, из которого обычно изготавливают печатные платы, составляет ~4,5-5,2. Тогда

$$\epsilon_{эфф} = 2,75 + 1,75 \left[\left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} + 0,041 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right].$$

При отношении $W/h \geq 1$ выражение (1) будет иметь вид:

$$Z_w = (120\pi / \sqrt{\epsilon_{эфф}}) \cdot [W / h + 1,393 + 0,667 \ln(W / h + 1,4444)]^{-1}, \quad (2)$$

где $\epsilon_{эфф} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2}$.

Приняв, как в предыдущем случае, $\epsilon_r = 4,5$, получим:

$$\epsilon_{эфф} = 2,75 + 1,75 \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2}.$$

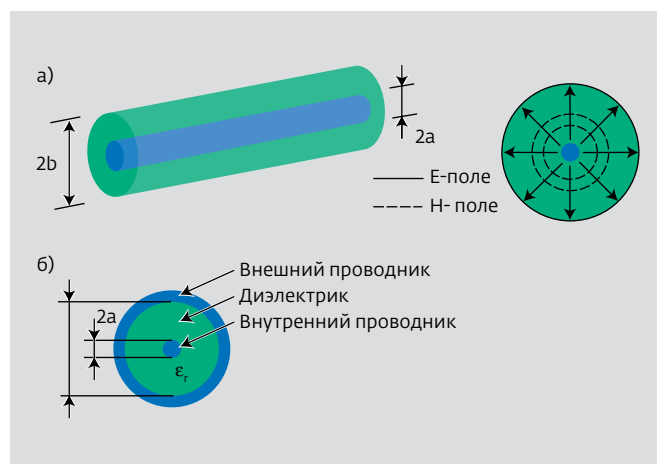


Рис.2. Структура коаксиальной линии: а) фронтальный вид и б) вид сверху

В рассматриваемом интервале W/h и ϵ_r погрешность расчета значений Z_w и $\epsilon_{эфф}$ не превышает 1%. Подставив полученное значение $\epsilon_{эфф}$ в выражение 2, можно рассчитать волновое

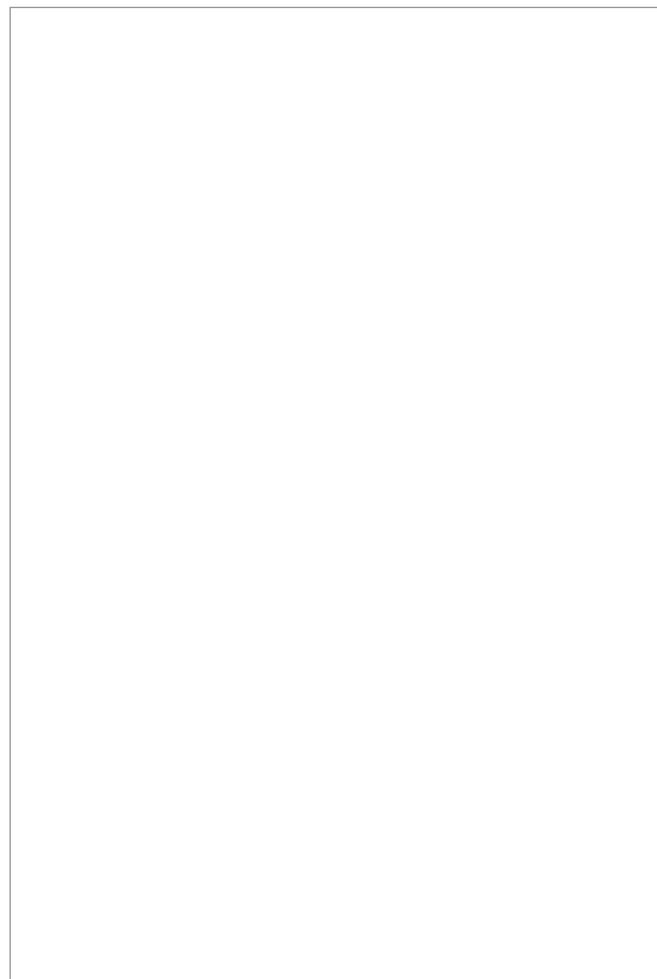




Рис.3. Внешний вид КИП для УВЧ (а) и ОВЧ (б) диапазонов

сопротивление Z_b для микрополосковой линии на печатной плате.

Сегодня в высокочастотной электронике, особенно когда необходимо существенно снизить влияние электромагнитных (ЭМ) помех, наиболее распространена коаксиальная линия, поэтому ее целесообразно использовать для контактных устройств ОВЧ-диапазона.

Коаксиальная линия состоит из сплошного внутреннего проводника радиусом a , и внешнего экрана с внутренним радиусом b (рис.2). В гибких кабелях внешний экран обычно сплетен из тонкой медной проволоки. В жестких конструкциях он выполнен из цельнометаллической трубки (такая конструкция чаще используется для СВЧ-устройств). Обычно на серийно производимых коаксиальных кабелях указывается их волновое сопротивление (основные стандартные значения – 50 и 75 Ом), однако при необходимости его несложно рассчитать по приведенной ниже формуле [3]:



Рис.4. Луженый корпус, используемый для КИП

$$Z_b = (60 / \sqrt{\epsilon_r}) \cdot \ln(b/a). \quad (3)$$

С учетом диэлектрической проницаемости ϵ_r фторопласта, который обычно используется в качестве диэлектрика в коаксиальных кабелях, равной ~3,3 получим:

$$Z_b = 33,03 \cdot \ln(b/a).$$

ОСОБЕННОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ КОНТАКТНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ПАССИВНЫХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ С КОАКСИАЛЬНЫМ ПОДКЛЮЧЕНИЕМ

Рассмотрим конкретные инженерные рекомендации по конструированию и сборке контактно-измерительных приспособлений для пассивных четырехполюсников (рис.3). При изготовлении контактно-измерительных приспособлений рекомендуется максимально использовать серийно производимые детали. Это сокращает трудозатраты на изготовление и увеличивает совместимость приспособления с другими устройствами.

Сборка устройства

Корпус устройства лучше всего выполнять из листовой стали с оловянным покрытием (рис.4), что облегчит пайку при сборке. Из серийно производимых изделий можно отметить корпуса фирмы ТЕКО моделей TRIPLATE 37-39 или их аналоги, так как они существуют в разном габаритном исполнении, имеют в своем составе набор экранирующих перегородок и легко модифицируются под различные прикладные задачи. Экранирующая перегородка устанавливается посередине корпуса, между входом и выходом,



Рис.5. Используемые в КИП разъемы "гнездо обжимное приборное с гайкой": а) SMA-типа и б) BNC-типа

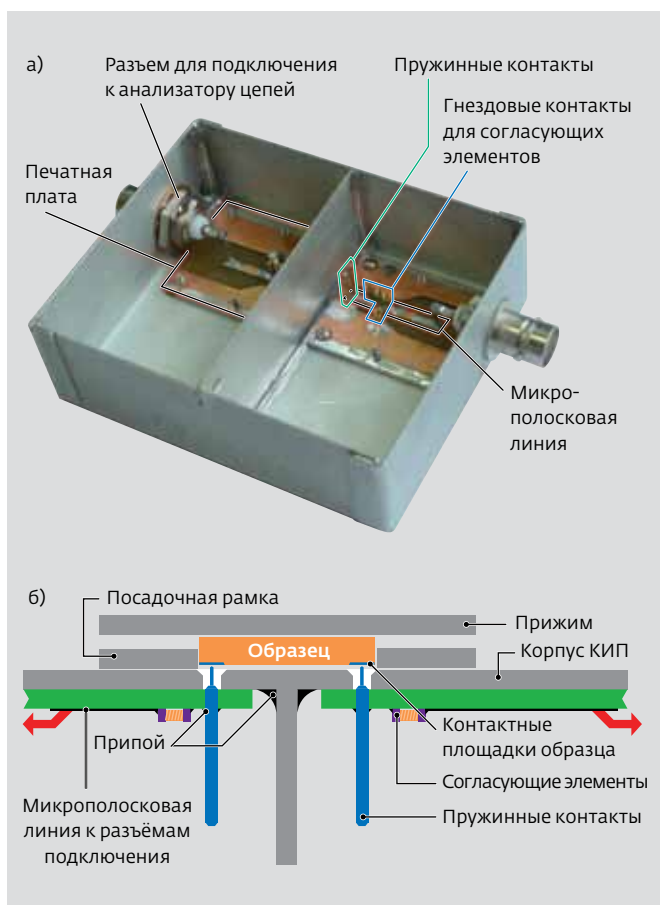


Рис.6. Внутренние соединения и контакты в КИП ОВЧ-диапазона: а) внешний вид, б) контактная область с образцом в разрезе

и тщательно пропаивается с дополнительным подогревом. Это необходимо для ЭМ-развязки входа и выхода четырехполюсника.

Разъемы. При выборе разъема рекомендуется остановиться на типоразмере SMA "гнездо обжимное приборное с гайкой" (рис.5а) с проводящим коррозионно-стойким покрытием сигнального контакта. У таких разъемов наиболее приемлемые значения КСВ, надежные контакты, хороший уровень экранирования. Кроме того, они достаточно компактны и доступны, их легко монтировать практически на любых корпусах. Можно использовать и 50-Ом разъемы N-типа, которые обеспечивают повышенную надежность и износоустойчивость соединений. Но габариты и масса их в несколько раз больше разъемов типа "SMA гнездо обжимное приборное с гайкой". Разъемы типа BNC (рис.5б) рекомендуется применять только для устройств ОВЧ-диапазона, так как их характеристики несколько хуже, чем у SMA. Если необходимы высокоточные измерения вносимых

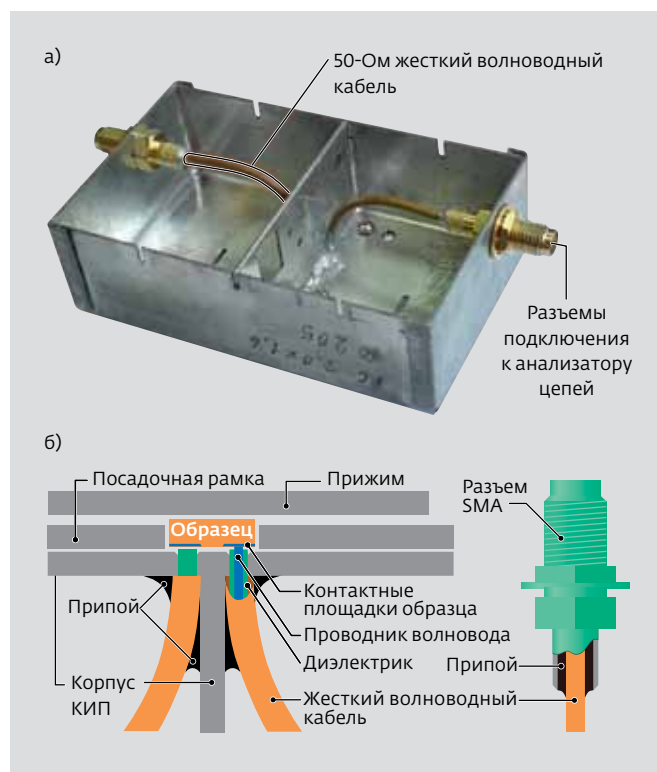


Рис.7. Внутренние соединения в КИП УВЧ-диапазона: а) внешний вид, б) контактная область с образцом и разъем в разрезе в плоскости разъем-разъем

потерь и КСВ образцов, то качество изготовления разъемов должно быть высоким.

Внутренние соединения контактно-измерительных устройств могут быть изготовлены на печатной плате с возможностью применения согласующих элементов (рис.6 для случая ОВЧ-диапазона) или в виде жесткого коаксиального кабеля, непосредственно впаянного в разъем подключения и соединяемого центральной жилой с измеряемым образцом через контактную площадку (рис.7 для случая УВЧ-диапазона).

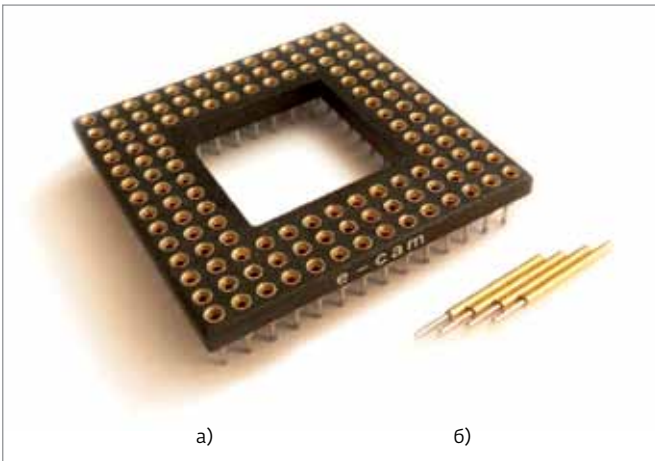


Рис.8. Гнездовые (а) и пружинные телескопические (б) контакты, используемые в КИП

В первом случае для снижения ЭМ-наводок печатная плата должна быть заземлена по периметру, а ее толщина и ширина микрополосковой линии – соответствовать требуемому волновому сопротивлению, которое можно приближенно рассчитать по формулам (1) и (2). Толщина печатных плат, используемых в приведенном на рис.6 КИП, составляет 1,5 мм, ширина микрополосковой линии – 2,8 мм, расчетное волновое сопротивление – ~50 Ом

В первом случае для снижения ЭМ-наводок печатная плата должна быть заземлена по периметру, а ее толщина и ширина микрополосковой линии – соответствовать требуемому волновому сопротивлению, которое можно приближенно рассчитать по формулам (1) и (2). Так, для печатных плат с расчетным значением волнового

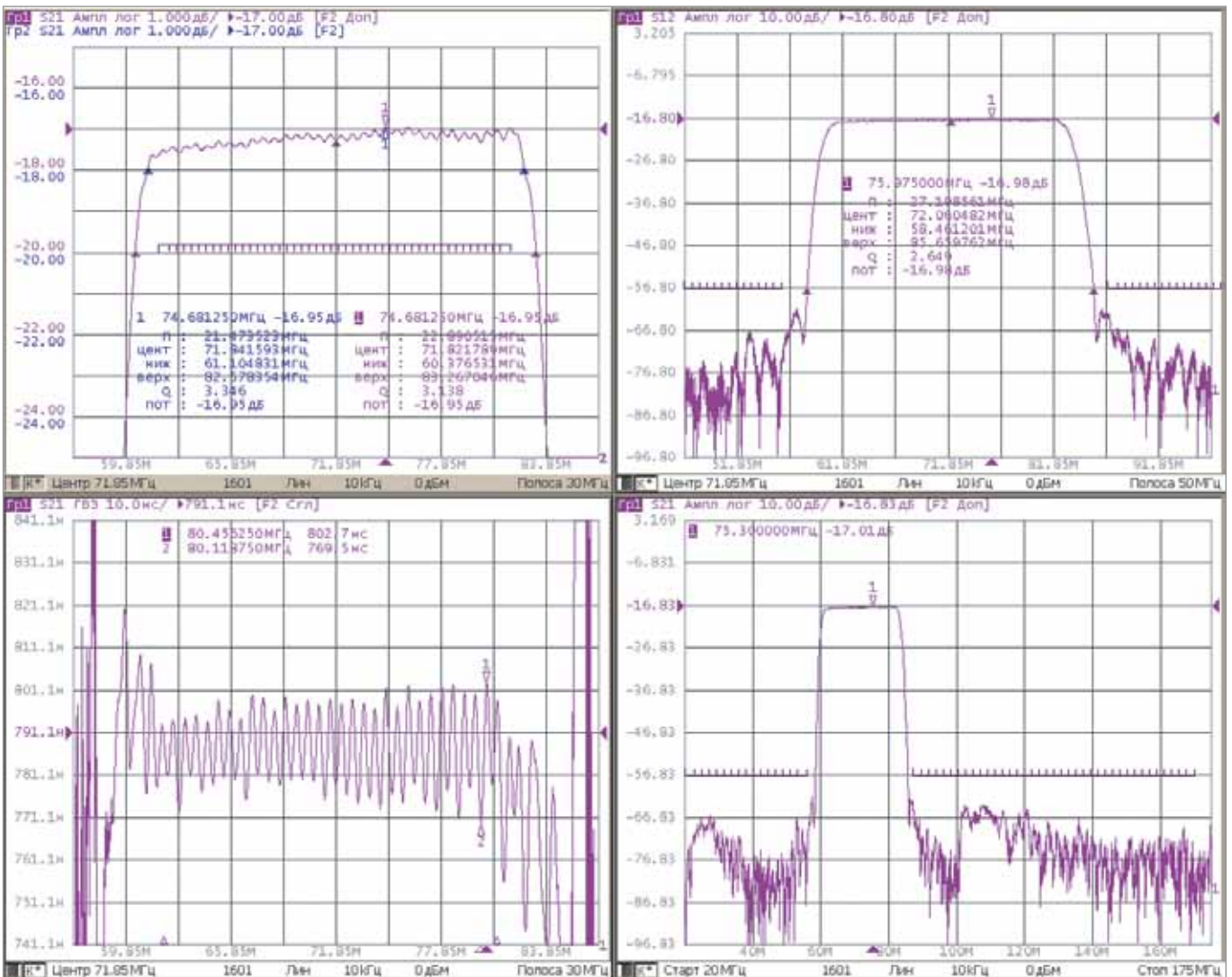


Рис.9. Амплитудно-частотные характеристики фильтра на 72 МГц в SMD-корпусе размером 13,3×6,5 мм, полученные ОВЧ КИП

сопротивления 50 Ом (погрешность <1%) и $\epsilon_r=4,5$ (стеклотекстолит FR-4) получены следующие соотношения ширины микрополосковой линии и толщины печатной платы:

Толщина печатной платы, мм	Ширина микрополосковой линии, мм
1,5*	2,8*
1,0	1,9
0,5	0,95
0,25	0,47

*Значения для печатных плат КИП (рис.6а)

ВЧ-контакты, непосредственно подключающие четырехполюсник к устройству измерения характеристик, располагаются под сигнальными площадками образца. Их вид зависит от типа устройства. Под земляными контактными площадками прокладываются три-четыре слоя обычной алюминиевой или медной фольги толщиной 60 мкм.

Для устройств подключения четырехполюсников СВЧ-диапазона в SMD-корпусах можно использовать пружинные штыревые контакты, например SPR-1J. Такие контакты имеют наиболее низкий КСВ и легко монтируются в 1,5-мм печатную плату. Они надежно функционируют и после 2000–3000 циклов прижима (рис.8а).

Для устройств подключения четырехполюсников СВЧ-диапазона в корпусах DIP-типа используются гнездовые контакты для микросхем (рис.8а). После установки их на печатную плату, концы их стачиваются, чтобы контакт входил в сквозное отверстие (в противном случае ножки измеряемых образцов могут упереться в торец контакта).

Для устройств подключения четырехполюсников СВЧ-диапазона лучше всего использовать в качестве контакта центральную жилу жесткого волноводного кабеля РК-50 1,5-22 или аналога (рис.8б). КСВ контактов этого типа на высоких частотах (1-3 ГГц) минимально. Срок службы обычно превышает 500 циклов прижима.

Для фиксации измеряемых образцов в нужном положении над контактами изготавливается посадочное гнездо в форме рамки из нержавеющей стали или латуни, толщина которой меньше, чем у образца примерно на 0,1-0,2 мм (обычно она равна 1 или 1,5 мм). После размещения образца в посадочной рамке его закрывают несколькими слоями медной или алюминиевой фольги (с целью снижения ЭМ-наводки) и прижимают прижимом с помощью фиксирующих винтов (см. рис.3 и рис.7б).

Применение контактных устройств

Рассмотренные контактно-измерительные приспособления неоднократно с успехом применялись для подключения ПАВ-фильтров к анализаторам цепей с целью измерения их частотных характеристик. Для этого после размещения образца в посадочном гнезде КИП и привинчивания металлической крышки к посадочной рамке с помощью ВЧ-разъемов КИП подключают к двухпортовому анализатору цепей. Прибор калибруют для исключения погрешностей, вносимых подключенным трактом, и проводят измерения.

Результаты измерений при помощи анализатора цепей ОБЗОР-304 амплитудно-частотных характеристик образцов фильтров на 72 МГц и 1227 МГц, используемых в СВЧ и УВЧ КИП, приведены на рис.9 и 10, соответственно. Измеренные частотные характеристики фильтра на 72 МГц демонстрируют уровень вносимых потерь -17 дБ, затухание в полосе заграждения -50 дБ, а на отдельных участках -57 дБ, что в сумме превышает 70 дБ динамического диапазона на частотах до 300 МГц. Для фильтров на 1227 МГц вносимые потери составили -3 дБ, а затухание в полосе заграждения - 45-60 дБ, что в среднем превышает 60 дБ динамического диапазона на частотах до 2 ГГц. Такой уровень ЭМ-развязки более чем достаточен для измерения большинства основных типов ПАВ-фильтров.

Снятые частотные характеристики достаточно близки к характеристикам, полученным при монтаже фильтров на серийные печатные платы, а также к заявленным производителем данным. Это подтверждает высокую достоверность измерений в обоих типах КИП и хорошую ЭМ-развязку в широком диапазоне частот.

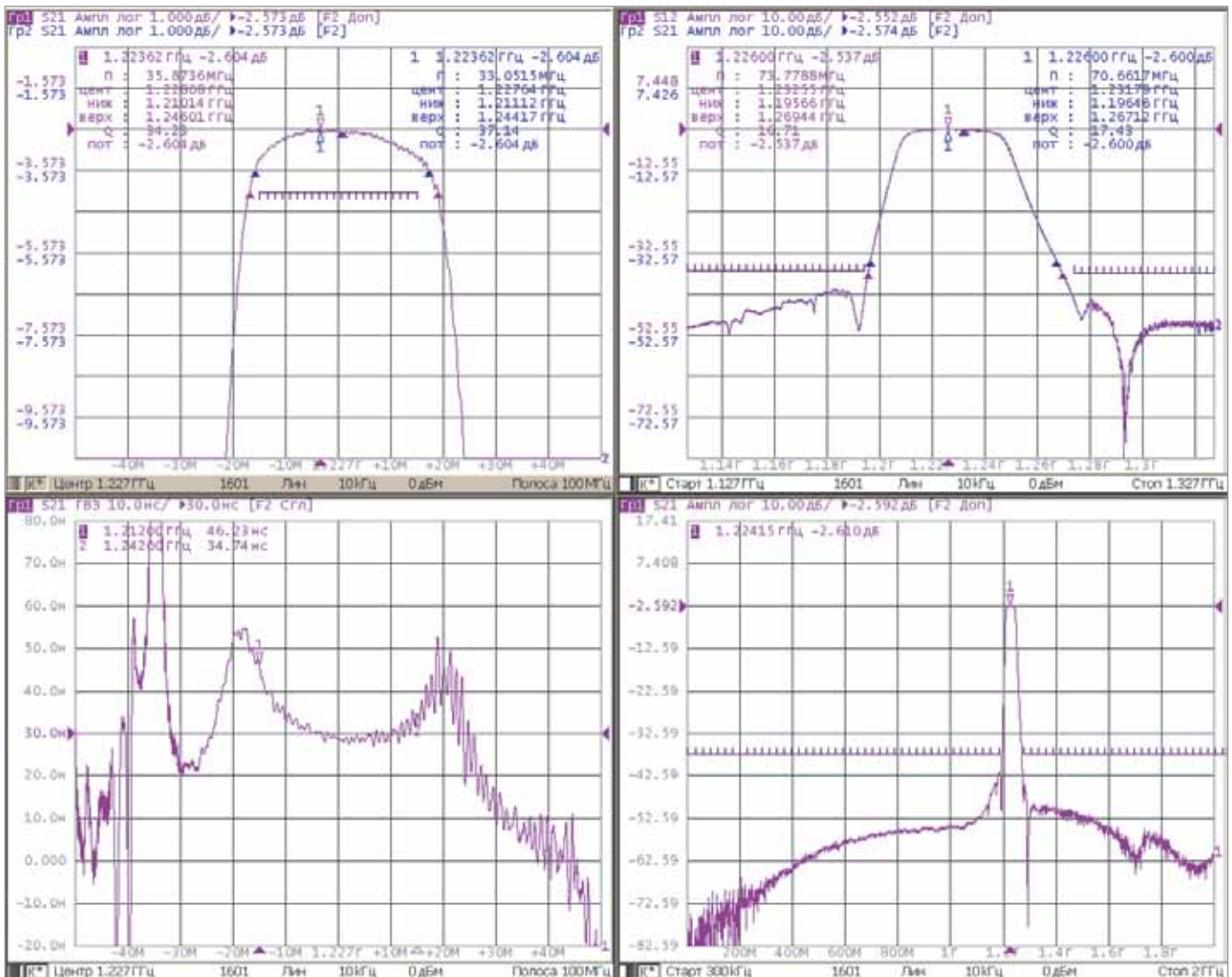


Рис.10. Амплитудно-частотные характеристики фильтра на 1227 МГц в корпусе Flip Chip размером 2,0x1,6 мм, полученные УВЧ КИП

Изложенные методы расчета параметров и инженерные схемы конструирования можно применять для создания КИП неразрушающего контроля пассивных четырехполюсников на основе доступных сегодня компонентов. Кроме того, базовые принципы могут быть использованы при конструировании сходных устройств неразрушающего контроля двухполюсников, в том числе генераторов, а также других радиоэлектронных устройств.

При проектировании учитывалась возможность использования минимального числа типов компонентов и максимальной адаптации КИП к различным корпусам тестируемых четырехполюсников. Все предложенные решения прошли многократные испытания на опытном

производстве при контроле электрических параметров ПАВ-фильтров [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24375-80. Радиосвязь. Термины и определения. Регламент радиосвязи Российской Федерации.
2. Туркин И.А. Исследование и разработка методов создания поверхностно-акустических фильтров на базе квазиверных однофазных однонаправленных преобразователей. (05.27.01). Дисс. на соиск. учен. степени канд. тех. наук. – М., 2011, <http://stereoscope.narod.ru/articles-SAW.html>
3. Фуско В. СВЧ-цепи. Анализ и автоматизированное проектирование. – М.: Радио и связь, 1990.
4. Материалы лаборатории НИЛ-3303 НИЧ МТУСИ. — saw-filters.ru