

# МИНИАТЮРНЫЕ КОАКСИАЛЬНЫЕ СВЧ-ВВОДЫ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

## КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ПРИМЕНЕНИЕ

К. Джуринский

**При создании современных герметизированных генераторных, усилительных, приемопередающих и преобразовательных СВЧ-модулей на микрополосковых линиях (МПЛ) первостепенное значение приобретает техника передачи сигналов с МПЛ при помощи коаксиальных выводов СВЧ-энергии. И если информация, посвященная разработкам изделий СВЧ, достаточно обширна и разнообразна, сведений о коаксиальных СВЧ-выводах явно недостаточно. Попытаемся восполнить этот пробел.**

Коаксиальные вводы сверхвысокой частоты (СВЧ-вводы) в изделиях микроэлектроники выполняют функцию вывода сигналов с МПЛ без отражений и потерь. Такие вводы могут применяться как самостоятельные элементы, но чаще их используют в сочетании с СВЧ-разъемами в составных соединителях (field replaceable connectors). Классический пример таких устройств – соединители типа К [1]. Кроме того, СВЧ-вводы используют для подвода напряжения питания, а также управляющих и модулирующих сигналов в изделиях с унифицированными корпусами. Волновое сопротивление СВЧ-выводов для микроэлектроники, за исключением специальных применений, равно 50 Ом. К специальным применениям можно отнести установку СВЧ-вывода перпендикулярно МПЛ, в этом случае волновое сопротивление близко к 30 Ом. В телевизионной технике общепринято использовать элементы тракта с волновым сопротивлением 75 Ом.

**Конструкция СВЧ-выводов** включает наружный цилиндрический и внутренний проводники, а также герметично спаянный с ними диэлектрик (рис. 1). В качестве диэлектрика в основном используют электровакуумное стекло с низкой диэлектрической проницаемостью, обеспечивающее миниатюризацию, упрощение технологии изготовления и снижение стоимости вводов [2]. Изредка для этой цели применяют специальные ситаллы и керамику. Диэлектрические свойства используемых в СВЧ-выводах стекол отечественного и зарубежного производства, а также, для сравнения, алюмооксидной керамики приведены в

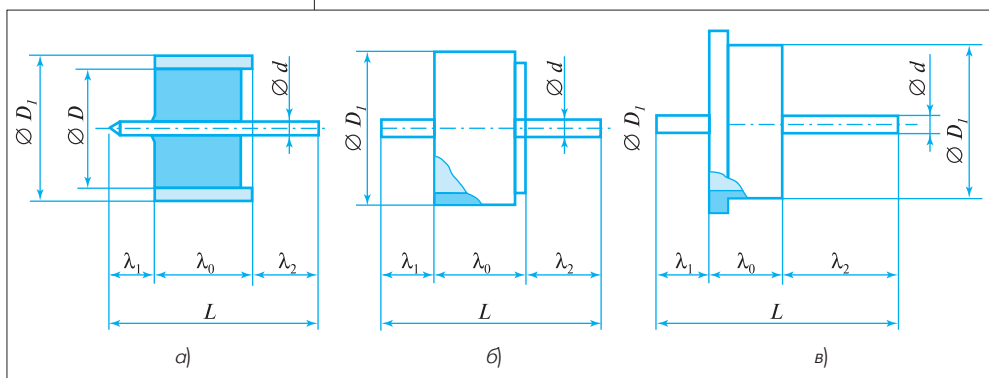
табл. 1. Эти данные необходимы для расчета основных параметров вводов.

Металлические проводники вводов изготавливают из сплава 29НК (ковар), согласованного по коэффициенту термического расширения (КТР) со стеклами марок C52-1 и Corning 7052, что обеспечивает получение надежных герметичных спаев, выдерживающих испытания на термоциклирование. Для получения согласованных по КТР спаев со стеклами C37-2 и Corning 7070 наиболее подходит вольфрам.

**Таблица 1. Диэлектрические свойства монолитных стекол и алюмооксидной керамики [3,4]**

| Марка стекла           | Параметр              | Значение при частотах |       |        |        |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------|--------|--------|
|                        |                       | 1 МГц                 | 3 ГГц | 10 ГГц | 38 ГГц |
| C52-1                  | e                     | 5,7                   | 5,5   | 5,2    | 5,0    |
|                        | tgδ · 10 <sup>4</sup> | 30                    | –     | 95     | 140    |
| C37-2                  | e                     | 4,2                   | –     | 4,0    | –      |
|                        | tgδ · 10 <sup>4</sup> | 4,0                   | –     | 15     | –      |
| Corning 7052           | e                     | 5,1                   | 5,04  | 4,93   | –      |
|                        | tgδ · 10 <sup>4</sup> | 26                    | 58    | 81     | –      |
| Corning 7070           | e                     | 4,0                   | –     | 4,0    | –      |
|                        | tgδ · 10 <sup>4</sup> | 8                     | 12    | 21     | –      |
| Алюмооксидная керамика | e                     | 10,3                  | –     | 9,8    | –      |
|                        | tgδ · 10 <sup>4</sup> | 2                     | –     | 2      | –      |

После пайки со стеклом металлические детали вводов покрывают золотом толщиной 1–5 мкм по подслою никеля. Золотое покрытие обеспечивает надежное соединение внутреннего проводника ввода с МПЛ и гнездовым контактом СВЧ-разъема, а наружного проводника – с корпусом изделия. Вместо золота можно использовать покрытия никелем и его сплавами или сплавами олово-висмут. Правда, при создании изделий микроэлектроники повышенной надежности и долговечности использовать сплав олово-висмут вместо золота не рекомендуется.



**Рис. 1. Конструкция СВЧ-выводов: а) типовых, б) самоустанавливающихся, в) с буртиком**



**Основные параметры СВЧ-вводов** – величина волнового сопротивления ( $Z_0$ ), значения КСВН ( $s$ ) и ВЧ-потерь ( $a$ ) в требуемом диапазоне частот – рассчитываются по формулам, приведенным в табл. 2 [5,6]:

**Таблица 2. Основные уравнения для расчета СВЧ-вводов**

| № п/п | Параметр   | Формула  |
|-------|--|--|
| 1     | Волновое сопротивление $Z_0$ , Ом  | $Z_0 = \frac{60}{e} \ln \frac{D}{d} - \lg \frac{138}{e} \frac{D}{d}$ (1.1)   |
| 2     | Погрешность волнового сопротивления $\Delta Z_0$ , Ом, в зависимости от: |  |
|       | допуска на диаметр $D$ , $\Delta D$ , мм                                 | $\Delta Z_0 = \frac{60}{e} \frac{\Delta D}{D}$ (2.1)   |
|       | допуска на диаметр $d$ , $\Delta d$ , мм                                 | $\Delta Z_0 = -\frac{60}{e} \frac{\Delta d}{d}$ (2.2)  |
|       | допусков $\Delta D$ и $\Delta d$ , мм                                    | $\% \Delta Z_0 = \frac{60}{e} \sqrt{\frac{\Delta D^2}{D^2} + \frac{\Delta d^2}{d^2}}$ (2.3)  |
|       | эксцентриситета $e$ , мм   | $\Delta Z_0 = -240 \frac{e^2}{D^2 + d^2}$ (2.4)  |
|       | отклонения диэлектрической проницаемости                                 | $\frac{\Delta Z_0}{Z_0} = \frac{1}{2} \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon}$ (2.5)  |
| 3     | КСВН, $s$  | $s = 1 + \frac{\% \Delta Z_0}{Z_0}$ (3.1)  |
| 4     | ВЧ-потери $a$ , дБ/м:<br>в проводниках, $a_{\text{ме}}$                  | $a_{\text{ме}} = \frac{1,98 \cdot 10^{-5}}{\lg \frac{D}{d}} \left( \frac{1}{\epsilon} + \frac{1}{\epsilon \cdot m} \right) e^{-m \cdot f \cdot r}$ (4.1) |
|       | в диэлектрике, $a_{\text{диэл}}$   | $a_{\text{диэл}} = 9,08 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot \text{tg} \delta \cdot e^{-m \cdot f \cdot r}$ (4.2)   |
|       | общие, $a_{\text{общ}}$  | $a_{\text{общ}} = a_{\text{ме}} + a_{\text{диэл}}$ (4.3)   |

**Примечание.**  $D$  и  $d$  – диаметры наружного и внутреннего проводников, измеряемые в миллиметрах (рис. 1а);  $e$  и  $\text{tg} \delta$  – относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь диэлектрика;  $e$  – эксцентриситет, измеряемый в миллиметрах;  $m$  – магнитная проницаемость материала проводников (на сверхвысоких частотах  $m = 1$ );  $r$  – удельное электрическое сопротивление материала проводников, Ом  $\text{мм}^2/\text{м}$ ;  $f$  – частота, Гц.

Как следует из уравнения (1.1), величина волнового сопротивления зависит от отношения диаметров наружного и внутреннего проводников  $D/d$  и диэлектрической проницаемости  $e$ . Если диэлектрик уже выбран, отношение  $D/d$  – величина практически постоянная. Так, при использовании в СВЧ-вводах с волновым сопротивлением 50 Ом в качестве диэлектрика стекла С52-1 отношение  $D/d$  равно 6,7. Замена стекла алюмооксидной керамикой приводит к увеличению этого отношения пропорционально  $e_{\text{керамика}}/e_{\text{стекла}}$ . В результате размеры вводов необходимо увеличить приблизительно в два раза. К тому же технология изготовления металлокерамических вводов значительно сложнее и дороже, чем металlostеклянных. Поэтому керамику в СВЧ-вводах применяют только в исключительных случаях (при высоких уровнях пропускаемой мощности и тепловых нагрузок).

Погрешность волнового сопротивления и значение КСВН зависят от таких факторов, как допуски на диаметры проводников, экс-

центриситет их взаимного расположения, величина зазоров между проводниками и диэлектриком, шероховатость поверхностей проводников, разброс значений диэлектрической проницаемости, форма свободных поверхностей диэлектрика. Чем меньше геометрические размеры СВЧ-ввода, а следовательно, чем выше его предельная частота, тем жестче требования к точности его изготовления (табл. 3). При этом особое внимание следует уделять точности изготовления внутреннего проводника ввода. Требования к точности зависят еще и от назначения вводов. Например, в случае применения их в прецизионных измерительных трактах погрешность волнового сопротивления не должна превышать 0,2%, что соответствует величине КСВН 1,002 [5]. При этом допуск на диаметр внутреннего проводника должен быть не более нескольких микromетров, а на диаметр наружного проводника – 10 мкм. Допуски для СВЧ-вводов, предназначенных для промышленных изделий микроэлектроники, обычно составляют 25–50 мкм.

Влияние эксцентриситета на погрешность волнового сопротивления и КСВН значительно слабее влияния неточности диаметров проводников (табл. 4), и при использовании СВЧ-ввода в качестве самостоятельного элемента им можно пренебречь. Однако в составном соединителе из-за неточности совмещения с СВЧ-разъемом эксцентриситет ввода может привести к отражению сигналов.

На поверхностное сопротивление и на значение эффективного диаметра проводников влияет и шероховатость поверхности. Правда, влияние шероховатости на погрешность волнового сопротивления становится ощутимым, лишь когда величины шероховатости и допусков на диаметры проводников – одного порядка.

В значительной степени КСВН СВЧ-вводов зависит от зазоров между диэлектриком и проводниками. С этим следует особо считаться, если в качестве диэлектрика используются органические материалы, например фторопласт. В случае его применения необходимо обеспечить плотную посадку диэлектрика между проводниками. Для вводов металlostеклянной конструкции данный эффект не проявляется.

**Таблица 4. Зависимость погрешностей волнового сопротивления и КСВН СВЧ-вводов от эксцентриситета**

| Диаметр, мм | Значения $\% \Delta Z_0$ и $s$ при различном эксцентриситете |                      |        |                      |        |                      |       |
|-------------|--|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|-------|
|             | 0,05 мм  |                      | 0,1 мм |                      | 0,2 мм |                      |       |
| $d$         | $D$  | $\% \Delta Z_0$ , Ом | $s$    | $\% \Delta Z_0$ , Ом | $s$    | $\% \Delta Z_0$ , Ом | $s$   |
| 0,3         | 2,0  | 0,150                | 1,003  | 0,60                 | 1,012  | 2,40                 | 1,05  |
| 0,4         | 2,7  | 0,085                | 1,002  | 0,34                 | 1,007  | 1,35                 | 1,03  |
| 0,5         | 3,45   | 0,052                | 1,001  | 0,21                 | 1,004  | 0,84                 | 1,016 |

Влияние отклонения диэлектрической проницаемости на параметры согласования СВЧ-вводов и погрешность волнового сопротивления иллюстрируют результаты расчета, приведенные в таблице 5. Причины изменения диэлектрической проницаемости – ее частотная зависимость (см. табл. 1), колебание химического состава

**Таблица 3. Зависимость погрешностей волнового сопротивления и КСВН от допусков на диаметры внутреннего  $\Delta d$  и наружного  $\Delta D$  проводников**

| Диаметр, мм   | Значения $\% \Delta Z_0$ и $s$ при допусках $\Delta d$ и $\Delta D$ |        |                      |       |                      |       |                      |       |
|---------------|---|--------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|
|               | 0,01 мм   |        | 0,025 мм             |       | 0,05 мм              |       | 0,1 мм               |       |
|               | $\% \Delta Z_0$ , Ом  | $s$    | $\% \Delta Z_0$ , Ом | $s$   | $\% \Delta Z_0$ , Ом | $s$   | $\% \Delta Z_0$ , Ом | $s$   |
| $d = 0,3$ мм  | 0,88  | 1,018  | 2,2                  | 1,040 | 4,4                  | 1,09  | 8,8                  | 1,18  |
| $d = 0,4$ мм  | 0,66  | 1,013  | 1,65                 | 1,033 | 3,3                  | 1,07  | 6,6                  | 1,13  |
| $d = 0,5$ мм  | 0,53  | 1,010  | 1,32                 | 1,026 | 2,65                 | 1,05  | 5,3                  | 1,10  |
| $D = 2,0$ мм  | 0,13  | 1,003  | 0,32                 | 1,006 | 0,65                 | 1,013 | 1,3                  | 1,03  |
| $D = 2,7$ мм  | 0,10  | 1,002  | 0,25                 | 1,005 | 0,50                 | 1,010 | 1,0                  | 1,02  |
| $D = 3,45$ мм | 0,08  | 1,0016 | 0,20                 | 1,004 | 0,40                 | 1,008 | 0,8                  | 1,016 |

**Таблица 5. Зависимость волнового сопротивления и КСВН СВЧ-вводов от погрешности относительной диэлектрической проницаемости**

| Параметр                | Значения $\frac{D Z_0}{Z_0}$ и $s$ при различных $\frac{D e}{e}$ |      |       |     |
|-------------------------|--|------|-------|-----|
|                         | 5%   | 10%  | 15%   | 20% |
| $\frac{D Z_0}{Z_0}, \%$ | 2,5  | 5,0  | 7,5   | 10  |
| $s$                     | 1,025  | 1,05 | 1,075 | 1,1 |

стекла разных партий, наличие в стекле неоднородностей и газовых пузырьков. Такие пузырьки в монолитном стекле возникают в процессе его пайки с металлом при наличии загрязнений и при перегреве. При соблюдении технологии изготовления вводов пузырение стекла исключается. Нередко в качестве диэлектрика СВЧ-вводов применяют порошковое стекло, особенность которого – закрытая пористость. Диэлектрическая проницаемость порошкового стекла меньше, чем у монолитного стекла аналогичного состава, и существенно зависит от величины пористости. По нашему мнению, для изготовления СВЧ-вводов, особенно работающих на частотах выше 10 ГГц, необходимо применять только монолитное стекло. Дополнительное преимущество оптически прозрачного монолитного стекла – возможность контроля в нём внутренних дефектов и напряжений, что важно для изделий повышенной надежности.

На параметры согласования СВЧ-ввода при встраивании его в радиочастотный тракт влияет также величина и форма мениска стекла на торцевых поверхностях. В отличие от низкочастотных вводов торцевая поверхность стекла СВЧ-вводов не должна иметь форму выпуклого мениска. Она должна быть либо плоской, либо специальным образом утопленной, как показано на рис. 1а, т.е. стекло не должно выступать за пределы наружного проводника.

**Высокочастотные потери** в СВЧ-вводе условно разделяют на потери в проводниках и потери в диэлектрике (уравнения 4.1 – 4.3). Потери в проводниках пропорциональны  $f$  и зависят от размеров проводников и свойств материалов, из которых они изготовлены. При этом около 80% всех потерь в проводниках – это потери на внутреннем проводнике ввода. Потери в диэлектрике зависят от частоты, определяются его диэлектрическими свойствами и не зависят от диаметров проводников. Результаты расчета высокочастотных потерь в СВЧ-вводах приведены в таблице 6. Эти потери резко возрастают с ростом частоты, особенно на частотах выше 10 ГГц. С уменьшением размеров вводов уровень потерь возрастает. В реальных СВЧ-вводах высокочастотные потери на частоте 10 ГГц не превышают 0,1 дБ, на частоте 38 ГГц – 0,25 дБ.

Для некоторых применений (сверхмаломощные устройства, измерительные устройства высокой чувствительности) необходим более низкий уровень потерь в СВЧ-вводе. Для этого в качестве диэлектрика следует применять стекла с лучшими диэлектрическими свойствами, например стекла Corning 7070 или C37-2. Их диэлектрическая проницаемость на 20–30%, а тангенс угла диэлектрических потерь в 4–6 раз меньше, чем у традиционно используемых стекол Corning 7052 или C52-1. Благодаря меньшей величине ди-

электрической проницаемости можно при неизменном диаметре наружного проводника увеличить в 1,1–1,2 раза диаметр внутреннего проводника, сохранив требуемую величину волнового сопротивления. Применение стекол с лучшими диэлектрическими свойствами позволяет снизить уровень потерь на СВЧ в несколько раз. Потери можно уменьшить до 1,5 раз, укорачивая длину наружного проводника (размер  $\frac{1}{3}$  на рис. 1). Если на проводники (прежде всего на внутренний) нанести покрытие из материала с высокой электропроводностью, например медное, потери в проводниках можно снизить на 20–50%. Необходимо только учитывать, что медь из покрытия, нанесенного на металлические проводники, в процессе высокотемпературной пайки со стеклом диффундирует в металл. Чтобы после пайки на проводниках еще осталось покрытие, его исходная толщина должна быть не менее 12 мкм.

В диапазоне низких частот потери в СВЧ-вводах практически определяются потерями в проводниках. Однако, начиная с частоты, равной нескольким гигагерцам, основной вклад вносят потери в диэлектрике.

На рынке электронных компонентов представлены **СВЧ-вводы зарубежных и отечественных производителей** (табл. 7). За рубежом вводы выпускают фирмы M/A-COM, Southwest Microwave, Northeast Electronics, Dynawave, Thunderline-Z, Advanced Technology Group, Balo Hermetics, Xeram Packaging, United Glass to Metall Sealing и др. Самые миниатюрные вводы с внутренним проводником диаметром 0,3 мм применяют для работы на частотах до 85 ГГц в составе соединителей типов K, OS-2,4, APC-2,4, APC-1,85. Вводы с внутренним проводником диаметром 0,4–0,5 мм используют в составе соединителей с предельными частотами 18–26 ГГц (типов SMA, OSP и др.) и как самостоятельные элементы. Все вводы рассчитаны на 50-Ом волновое сопротивление. На частотах до 18 ГГц КСВН СВЧ-вводов оценивается величиной  $s = 1,02 + 0,003f_{ГГц}$ . На частоте 10 ГГц КСВН не превышает 1,05, на 18 ГГц – 1,075. Величины высокочастотных потерь и КСВН вводов на частотах более 18 ГГц в рекламных материалах фирм не указаны. Вместо них приводятся параметры самих соединителей, в состав которых входят СВЧ-вводы. Все СВЧ-вводы металлостеклянной конструкции герметичны. Их герметичность, характеризуемая скоростью натекания гелия через ввод, не хуже  $1 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3/\text{с}$  ( $10^{-9} \text{ м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$ ). Диапазон рабочих температур СВЧ-вводов – от -55 С до +125 С. Отечественные СВЧ-вводы, выпускаемые ГНПП “Исток”, по своим параметрам практически не отличаются от зарубежных аналогов [10].

Следует отметить некоторые особенности зарубежных вводов:

- диаметр их внутреннего проводника не превышает 0,5 мм, что соответствует стандартной ширине полоска МПЛ;
- длина наружного проводника равна 1,3–1,6 мм;
- в вводах для работы на частотах выше 45 ГГц в качестве диэлектрика используется стекло Corning 7070 с низкими значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Целесообразность таких решений очевидна. Однако применение в зарубежных СВЧ-вводах в качестве диэлектрика спеченного по-

**Таблица 6. Высокочастотные потери в проводниках, диэлектрике и общие потери СВЧ-вводов со стеклом марки C52-1 в качестве диэлектрика**

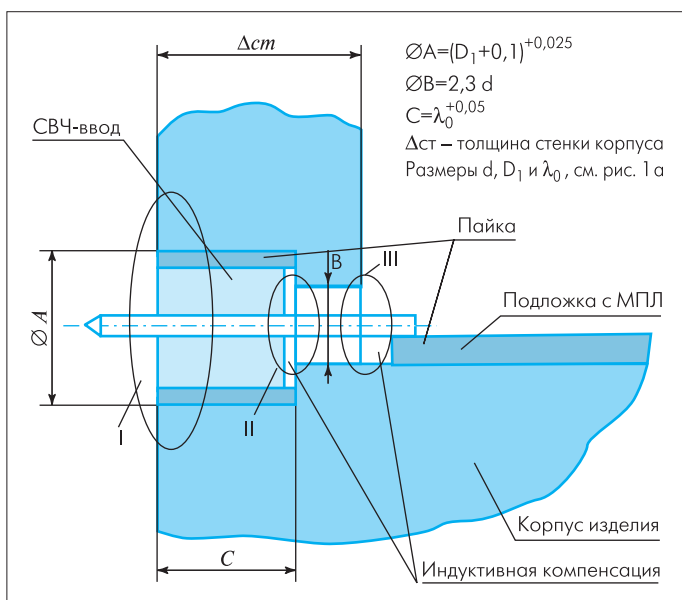
| Диаметр d, мм | Металл проводников | Потери дБ/мм·10 <sup>3</sup> на частотах |            |           |          |            |           |          |            |           |
|---------------|--------------------|--|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|------------|-----------|
|               |                    | 1 МГц                                    |            |           | 10 ГГц   |            |           | 38 ГГц   |            |           |
|               |                    | $a_{ме}$                                 | $a_{диэл}$ | $a_{общ}$ | $a_{ме}$ | $a_{диэл}$ | $a_{общ}$ | $a_{ме}$ | $a_{диэл}$ | $a_{общ}$ |
| 0,3           | Ковар              | 0,16                                     | 0,0006     | 0,16      | 14,8     | 19,7       | 34,5      | 28       | 108,2      | 136,2     |
| 0,4           |                    | 0,12                                     | 0,0006     | 0,12      | 11,0     | 19,7       | 30,7      | 21       | 108,2      | 129,2     |
| 0,5           |                    | 0,09                                     | 0,0006     | 0,09      | 8,8      | 19,7       | 28,5      | 17       | 108,2      | 125,2     |
| 0,3           | Медь               | 0,03                                     | 0,0006     | 0,03      | 2,7      | 19,7       | 22,4      | 5,2      | 108,2      | 113,4     |



рошкового стекла, по нашему мнению, не всегда оправдано.

Выходные параметры изделия в значительной степени зависят от правильности его **установки в корпус** и соединения СВЧ-ввода с МПЛ. Как правило, толщина стенки корпуса в месте установки ввода превышает длину наружного проводника ввода. Типичные толщины стенок зарубежных корпусов 3,2; 4,8 и 6,4 мм, отечественных – от 3 до 6 мм. Поэтому в стенке корпуса создают соединительную ступень, представляющую собой отрезок воздушной коаксиальной линии с волновым сопротивлением 50 Ом (рис. 2). Диаметр ступени В определяется из известного соотношения  $B=2,3d$ , где  $d$  – внутренний диаметр ввода.

Можно выделить три области, где существует емкостная неоднородность. Коэффициент отражения от каждой из этих неоднородностей пропорционален значениям емкости и частоты. Поэтому с влиянием емкостной неоднородности на СВЧ следует особенно считаться. В области I отражение возникает из-за неточности совмещения ввода с СВЧ-разъемом (для составных соединителей). Такая неточность обусловлена прежде всего эксцентриситетом расположения проводников ввода и разъема, а также допусками на их диаметры. В областях II и III из-за различия диэлектрических проницаемостей воздуха ( $\epsilon=1$ ) и диэлектрика (для стекла  $\epsilon=4,0-5,2$ , для материала подложки  $\epsilon$  достигает 10) происходит скачок емкости. Емкостную неоднородность компенсируют при помощи индуктивной секции тракта. Роль индуктивности играют воздушные промежутки. Сущность компенсации заключается в изъятии на этих участках диэлектрика с высокой (по сравнению с воздухом) диэлектрической проницаемостью и уменьшении за счет этого емкостной неоднородности. Размер воздушных промежутков не превышает нескольких десятых долей миллиметра и, как правило, подбирается экспериментально.



**Рис. 2. Пример установки СВЧ-ввода в изделие**

**Таблица 7. Геометрические размеры зарубежных [7–9] и отечественных [10] СВЧ-вводов**

| №                         | Тип ввода            | Изготовитель          | Номинальные размеры, мм |                |                |                |                |      |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
|                           |                      |                       | d                       | D <sub>1</sub> | l <sub>0</sub> | l <sub>1</sub> | l <sub>2</sub> | L    |
| СВЧ-вводы зарубежных фирм |                      |                       |                         |                |                |                |                |      |
| 1                         | 2098-3250-94*        | M/A-COM               | 0,3                     | 2,5            | 1,6            | 1,8            | 4,6            | 8,0  |
| 2                         | 8598-0294-00*        |                       | 0,3                     | 1,9            | 1,4            | 1,1            | 0,7            | 3,2  |
| 3                         | 2098-3441-94*        |                       | 0,4                     | 2,5            | 1,6            | 1,8            | 4,6            | 8,0  |
| 4                         | 2098-3251-94*        |                       | 0,45                    | 2,8            | 1,6            | 1,8            | 4,6            | 8,0  |
| 5                         | 2098-0294-00*        |                       | 0,5                     | 4,0            | 1,7            | 2,1            | 1,8            | 5,6  |
| 6                         | 2098-3323-94*        |                       | 0,5                     | 4,0            | 1,8            | 2,1            | 5,6            | 9,5  |
| 7                         | 2098-3332-94*        |                       | 0,5                     | 4,0            | 1,6            | 1,6            | 1,6            | 4,8  |
| 8                         | 2098-3347-94**       |                       | 0,5                     | 4,5            | 1,7            | 2,8            | 2,9            | 7,4  |
| 9                         | 290-07G*             | Southwest Microwave   | 0,3                     | 1,9            | 1,4            | 2,0            | 0,7            | 3,1  |
| 10                        | E10K-101*            | Northeast Electronics | 0,3                     | 2,5            | 1,5            | 1,5            | 5,0            | 8,0  |
| 11                        | E10K-102*            |                       | 0,5                     | 2,5            | 1,5            | 1,9            | 4,6            | 8,0  |
| 12                        | E10K-103*            |                       | 0,5                     | 2,5            | 1,3            | 1,4            | 1,5            | 4,2  |
| 13                        | E15K-101*            |                       | 0,5                     | 2,5            | 1,5            | 1,5            | 5,0            | 8,0  |
| 14                        | E15K-102*            |                       | 0,5                     | 2,5            | 1,5            | 1,5            | 2,4            | 8,4  |
| 15                        | E15K-103*            |                       | 0,5                     | 2,5            | 1,5            | 1,8            | 1,5            | 4,8  |
| 16                        | E15K-104*            |                       | 0,5                     | 2,5            | 1,5            | 1,5            | 0,8            | 3,8  |
| 17                        | E15K-105*            |                       | 0,5                     | 2,5            | 1,5            | 2,0            | 2,7            | 6,2  |
| Отечественные СВЧ-вводы   |                      |                       |                         |                |                |                |                |      |
| 1                         | ТС3.575.343*         | ГНПП "Исток"          | 0,3                     | 2,4            | 4,0            | 1,0            | 1,0            | 6,0  |
| 2                         | ТС3.575.343-01*      |                       | 0,3                     | 2,4            | 2,0            | 2,0            | 2,0            | 6,0  |
| 3                         | КРПГ433434. 015-02*  |                       | 0,4                     | 3,4            | 1,8            | 2,0            | 2,7            | 6,5  |
| 4                         | КРПГ433434.015-03*   |                       | 0,5                     | 3,8            | 1,8            | 2,0            | 2,7            | 6,5  |
| 5                         | КРПГ433434.003***    |                       | 0,6                     | 4,7            | 2,0            | 0,95           | 4,55           | 7,5  |
| 6                         | КРПГ433434.003-02*** |                       | 0,6                     | 4,7            | 2,0            | 6,5            | 3,5            | 12,0 |
| 7                         | ТС3.575.425***       |                       | 0,6                     | 4,7            | 6,0            | 2,7            | 1,8            | 10,5 |
| 8                         | ТС3.575.425-01***    |                       | 0,6                     | 4,7            | 3,5            | 1,6            | 2,4            | 7,5  |
| 9                         | Э282-01*             |                       | 1,05                    | 9,0            | 3,0            | 4,6            | 4,4            | 12,0 |

Примечания: \* рис. 1,а; \*\* рис. 1,б; \*\*\* рис. 1,в.

СВЧ-вводы впаивают в корпуса изделий с предварительно нанесенным защитным покрытием при помощи низкотемпературных припоев. В современных корпусах применяют следующие покрытия: Хим Н18.О-Ви(99,7)6, Хим Н18.Н1.Пд-Н(80)1, Хим Н18(Н-Б)6, серебро, золото. В качестве припоя обычно используют сплав ПОС-61 (температура плавления 183–190 С) и паяльные пасты на его основе. Наш опыт показывает, что наилучшее качество пайки достигается при использовании бесканифольной водорастворимой паяльной пасты ППВ-190 ТСО.029.023 ТУ на основе припоя ПОС-61 [7, 11]. Пайку производят на воздухе при температуре 190–220 С с выдержкой при этой температуре в течение 10–15 с. Остатки флюса легко удаляются промывкой в воде даже без применения ультразвука.

Размеры посадочного места под установку СВЧ-ввода приведены на рис. 2. При установке ввода необходимо выполнить следующие условия:

- обеспечить хорошее заполнение припоем всех зазоров, включая торцевые поверхности наружного проводника ввода;
- исключить наплывы припоя и остатки флюса в соединительном канале;
- обеспечить расстояние от плоскости МПЛ до оси внутреннего проводника ввода не более 0,8 мм;
- выполнять соединение внутреннего проводника ввода с МПЛ либо непосредственной пайкой или сваркой к полоску, либо с использованием перемычки из золота толщиной 20–50 мкм;
- предусмотреть в перемычке компенсационную петлю с тем, чтобы избежать образования в ней разрывов и трещин при термостабильности.

**В заключение** следует отметить, что несмотря на кажущуюся простоту СВЧ-вводов, их создание и рациональное применение

требует знания многих областей техники: техники СВЧ и радиоизмерений, технологии спаев стекла с металлами и низкотемпературной пайки, гальванотехники. Настоящая работа является попыткой систематизировать современные представления в этой области.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Browne J.** Precision Coaxial Cables and Connectors Reach 45 Ghz. – *Microwaves and RF*, 1983, № 9, p. 131.
2. **Джуринский К.Б., Калина В.Г., Родионов А.Д.** Коаксиальный СВЧ-ввод для герметичных модулей на основе гибридно-интегральных схем. – *Электроника СВЧ*, 1987, вып. 7 (401), с. 56.
3. Справочные данные на стекла для электровакуумных приборов. – М.: НИИЭС, 1986.
4. **Эспе В.** Технология электровакуумных материалов. – М.: Энергия, 1968.
5. **Sladek N.J.** Основные соображения по расчету и применению прецизионных коаксиальных соединителей. – *Зарубежная радиоэлектроника*, 1967, № 10, с. 101.
6. **Ефимов И.Е., Останкович Г.А.** Радиочастотные линии передачи. – М.: Связь, 1977.
7. Coaxial connectors, adapters, tools and accessories. Каталог фирмы M/A-COM Omni-Spectra, 1997.
8. Проспект фирмы Southwest Microwave, 1994.
9. 50-Ohm Kovar Feedthroughs are Now Stock Items in a Range of Finishes and Configurations. Реклама фирмы Northeast Electronics Corp.– *Microwave System News*, 1985, v. 15, N7, p. 27.
10. **Джуринский К.Б.** Коаксиальные радиокомпоненты нового поколения для микроэлектронных устройств СВЧ. Справочные материалы по электронной технике. – ОНТИ, 1996.
11. Патент РФ 1808590, МКИ В23К35/24. Паста для низкотемпературной пайки/В.Ф. Шиханов, Н.П. Литвиненко. – Оpubл. в Б.И. 1993, № 14. Приоритет от 9.07.90.

Контактный телефон: (095) 465–8624