

**В.А. Рудаков, В.А. Следков, А.П. Майоров, М.Б. Мануилов**

ФГБОУ ВПО Южный федеральный университет

## **Широкополосные ультракомпактные переходы с коаксиального на прямоугольный и Н-образный волноводы сантиметрового диапазона**

*Предложены и исследованы новые компактные широкополосные конструкции коаксиально-волноводных переходов (КВП) с 50-омной коаксиальной линии на стандартный волновод прямоугольного и Н-образного сечения. Изготовленный макет КВП диапазона 18-26 ГГц обеспечивает КСВ не хуже 1.3 в рабочей полосе частот. Измеренное значение КСВ пары КВП диапазона 8-18 ГГц, включенных навстречу друг другу, составляет не более 1.4, что совпадает с расчетными данными. Величина КСВ для одиночного КВП диапазона 8-18 ГГц по расчету не превышает 1.15. Предложенные конструкции характеризуются простотой и технологичностью. Поперечные размеры КВП совпадают с размерами стандартных волноводных фланцев, а продольный размер составляет около 10 мм (18-26 ГГц) и 13 мм (8-18 ГГц).*

**Ключевые слова:** коаксиально-волноводный переход, коаксиальная линия, прямоугольный волновод, Н-волновод

Совершенствование современной элементной базы пассивных СВЧ компонентов идет по пути расширения их рабочего диапазона, улучшения электрических характеристик в заданной полосе частот, сокращения габаритов и массы. При разработке различных элементов антенно-фидерных трактов, к числу которых относятся коаксиально-волноводные переходы (КВП), ключевым требованием наряду с высокими электрическими характеристиками является также максимально компактная, технологичная и простая конструкция, которая должна обеспечивать высокую повторяемость характеристик, при серийном производстве.

Выбор технического решения при реализации КВП определяется конкретными приложениями, для которых они разрабатываются. В частности, для антенных решеток с плотной упаковкой излучателей предпочтение чаще отдается конструкциям, где коаксиальная линия и волновод расположены соосно [1,2]. В некоторых других случаях необходим максимально компактный размер перехода, что может быть достигнуто с применением конструкции, когда коаксиальная линия и волновод соединены под прямым углом [3-5]. Данная конструкция используется, например, при возбуждении одиночных широкополосных рупорных излучателей, при экспериментальном тестировании диаграммообразующих устройств (ДООУ) с волноводными входами, а также при использовании КВП в составе ДООУ. В данной работе предложены новые конструкции КВП второго типа.

Среди известных переходов со стандартного прямоугольного на коаксиальный волновод можно выделить КВП с клиновидным гребнем на одной из широких стенок волновода [3], а также конструкции, где на конце центрального проводника коаксиальной линии имеется цилиндрическая металлическая втулка [4,5]. Недостатками известных конструкций [1-5] являются относительно большие размеры и узкая рабочая полоса частот, которая достигает 25%.

Целью работы является создание улучшенных конструкций широкополосных переходов с коаксиальной линии на прямоугольный и Н-образный волновод (с поперечным

соединением линий передачи). Разрабатываемые конструкции КВП должны иметь более компактные размеры, расширенную рабочую полосу частот и улучшенное согласование по сравнению с известными аналогами. Предложенные конструкции также должны быть максимально простыми и технологичными.

В данной работе ставится задача создания КВП для диапазонов 18...26 ГГц (К-диапазон) и 8...18 ГГц (X- и Ku-диапазоны). В диапазоне 18...26 ГГц КВП должен обеспечивать согласование прямоугольного волновода стандартного сечения (11×5.5 мм) с 50-омной коаксиальной линией. Сверхоктавный переход диапазона 8...18 ГГц должен обеспечивать согласование 50-омной коаксиальной линии со стандартным H-волноводом (17.551×8.153). При этом поперечные размеры переходов должны совпадать с размерами стандартных волноводных фланцев, а в качестве коаксиального выхода используется SMA разъем.

Предложенные новые конструкции КВП диапазона 18...26 ГГц и диапазона 8...18 ГГц показаны на рис. 1, 2, где приведены фотографии изготовленных макетов и трехмерные модели переходов. Электродинамический анализ и оптимизация КВП были выполнены методом конечного интегрирования, который обеспечивает приемлемую для практики точность и высокую эффективность при расчете широкополосных СВЧ устройств. Трехмерные модели на рис. 1б, 2б включают коаксиальный SMA разъем.

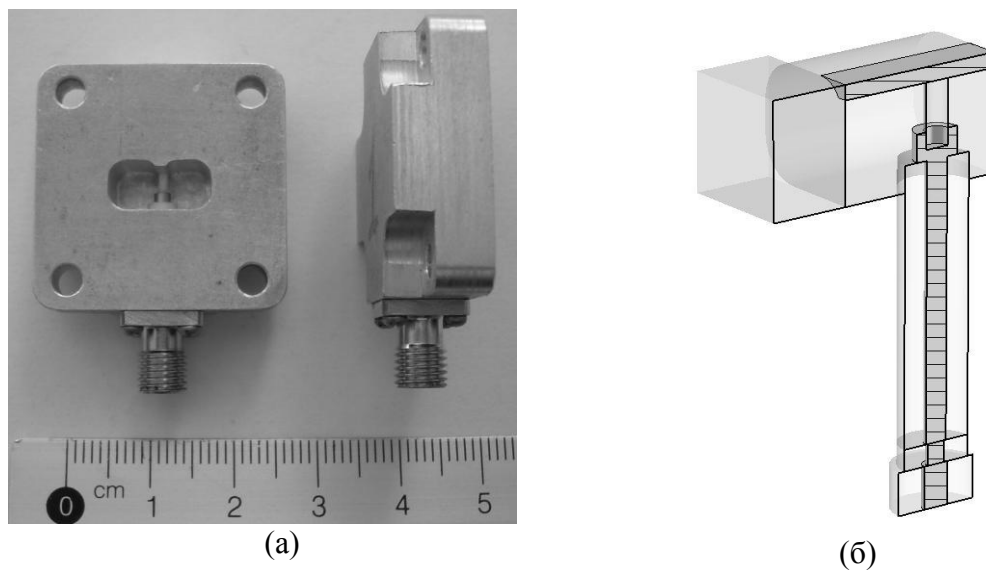


Рисунок 1

Корпус КВП представляет собой цельную металлическую пластину, в которой путем фрезеровки выполнено углубление, образующее короткозамкнутый отрезок волновода П- или H-образного сечения (рис. 1 и 2 соответственно). Поперечные размеры КВП совпадают с размерами стандартного волноводного фланца. Через отверстие в широкой стенке короткозамкнутого отрезка волновода введен коаксиальный штырь с цилиндрическим окончанием увеличенного диаметра. Штырь фиксируется в коаксиальном канале с помощью диэлектрической втулки, которая нижним концом упирается в коаксиальный разъем, а верхним концом упирается в цилиндрический выступ на конце коаксиального зонда. С

другой стороны для фиксации коаксиального зонда использован диэлектрический стержень, который одним концом вставлен в цилиндрическую выборку на конце зонда, а другим концом упирается в гребень волновода.

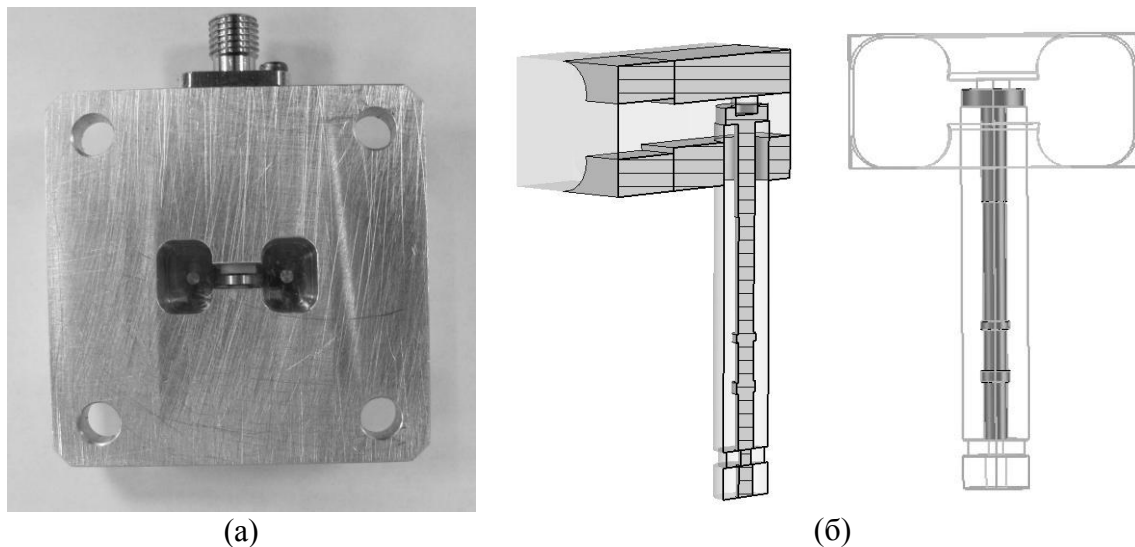


Рисунок 2

Расширение рабочего диапазона частот КВП при минимальных его размерах достигается введением в конструкцию нескольких ключевых элементов. Конструкция КВП содержит выступ (гребень) на широкой стенке волноводной секции, расположенный напротив коаксиального возбуждающего зонда (рис.1), либо два гребня (рис. 2). Центральный проводник коаксиальной линии может иметь один или несколько трансформирующих отрезков, диаметр которых больше диаметра остальной части центрального проводника. В частности, КВП на рис. 2б имеет четвертьволновую секцию увеличенного диаметра, частично погруженную в волновод, и две коротких секции увеличенного диаметра в нижней части коаксиального зонда. Металлический зонд с цилиндрическим окончанием большего диаметра размещается параллельно силовым линиям в максимуме электрического поля, что дает возможность, трансформировать ТЕМ волну коаксиальной линии в основную волну прямоугольного волновода.

Для улучшения согласования КВП во всей рабочей полосе частот прямоугольного волновода, коаксиальный зонд располагается на расстоянии равном четверти длины волны от короткозамкнутого конца волновода. В процессе оптимизации также варьировались радиусы и длины трансформирующих отрезков коаксиала и размеры волноводного гребня, расположенного напротив коаксиального возбуждающего зонда.

Предложенные конструкции КВП позволяют осуществлять согласование прямоугольных или H-образных волноводов с коаксиальными линиями передачи во всем рабочем диапазоне волновода, что было подтверждено на экспериментальных макетах. Экспериментальное исследование изготовленных коаксиально-волноводных переходов было выполнено на векторном анализаторе цепей PNA E8363B фирмы Agilent Technologies. При этом использовалась двухпортовая калибровка SOLT. В процессе измерений возбуждался коаксиальный вход, а волноводный порт был нагружен согласованной нагрузкой.

Изготовленный КВП диапазона 18-26 ГГц (рис.1) имеет экспериментальный  $K_{CB} \leq 1.3$  (расчетное значение  $K_{CB} \leq 1.18$ ). Соответствующая частотная зависимость  $K_{CB}$  приведена на рис. 3. Метками 1, 2 выделены границы рабочего диапазона, а метка 3 показывает максимальное значение  $K_{CB}$  в заданной полосе. Измеренное значение  $K_{CB}$  пары КВП диапазона 8-18 ГГц (рис. 2, 4), включенных навстречу друг другу, составляет не более 1.4 (рис. 4), что совпадает с расчетными данными. Величина  $K_{CB}$  для одиночного КВП диапазона 8-18 ГГц по расчету не превышает 1.15. Рабочая полоса частот данной конструкции КВП превышает октаву (перекрытие  $f_2: f_1 = 2.25$ ). Оба перехода имеют весьма компактные размеры, которые равны  $29 \times 29 \times 10$  мм для КВП К-диапазона (рис. 1) и  $35 \times 35 \times 13.6$  мм для КВП диапазона 8-18 ГГц (рис. 2). При этом поперечные размеры переходов определяются размером волноводных фланцев, а толщина КВП составляет всего 10 и 13.6 мм соответственно.

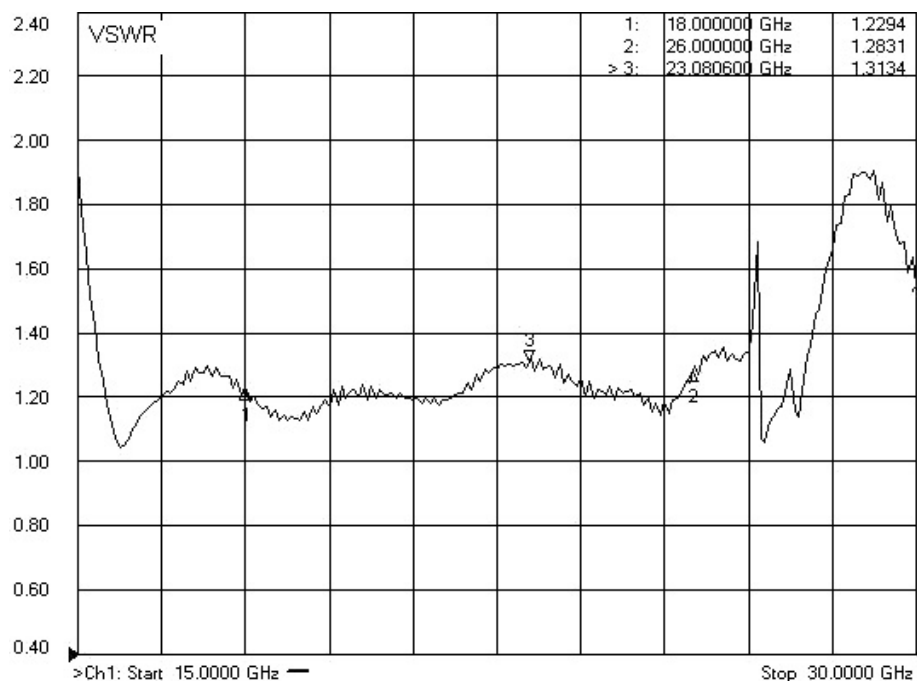
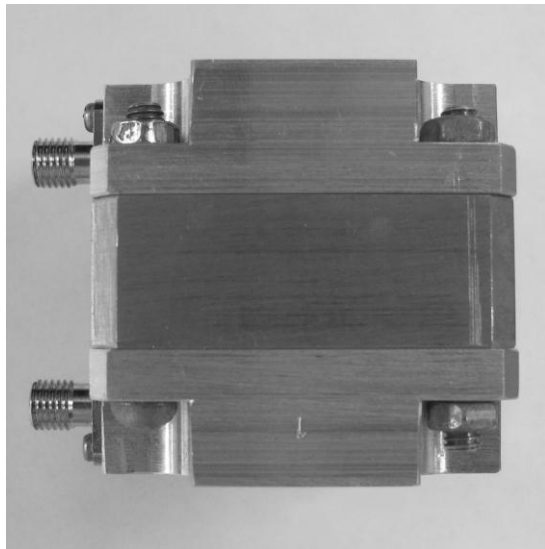
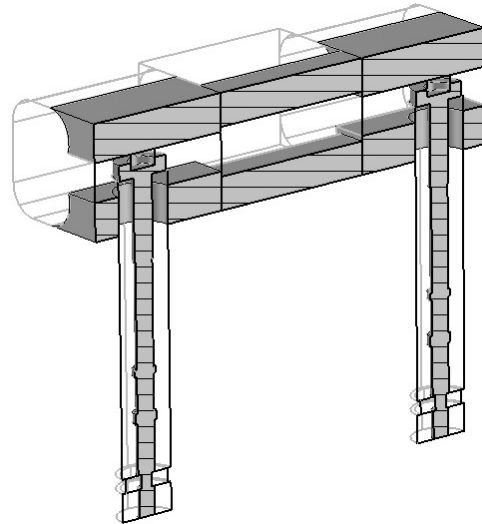


Рисунок 3

Таким образом, в работе предложены новые компактные конструкции широкополосных переходов с 50-омной коаксиальной линии на прямоугольный и Н-образный волноводы стандартного сечения. Предложенные конструкции обеспечивают работу во всей стандартной полосе частот прямоугольного и Н-образного волноводов. Конструкции содержат волноводную секцию П-образного (или Н-образного) сечения, коаксиальный зонд с согласующими секциями увеличенного диаметра и фиксирующую диэлектрическую втулку. Предложенное техническое решение может быть реализовано в других частотных диапазонах. Разработанные КВП использованы для возбуждения широкополосных рупорных излучателей.



(a)



(б)

Рисунок 4

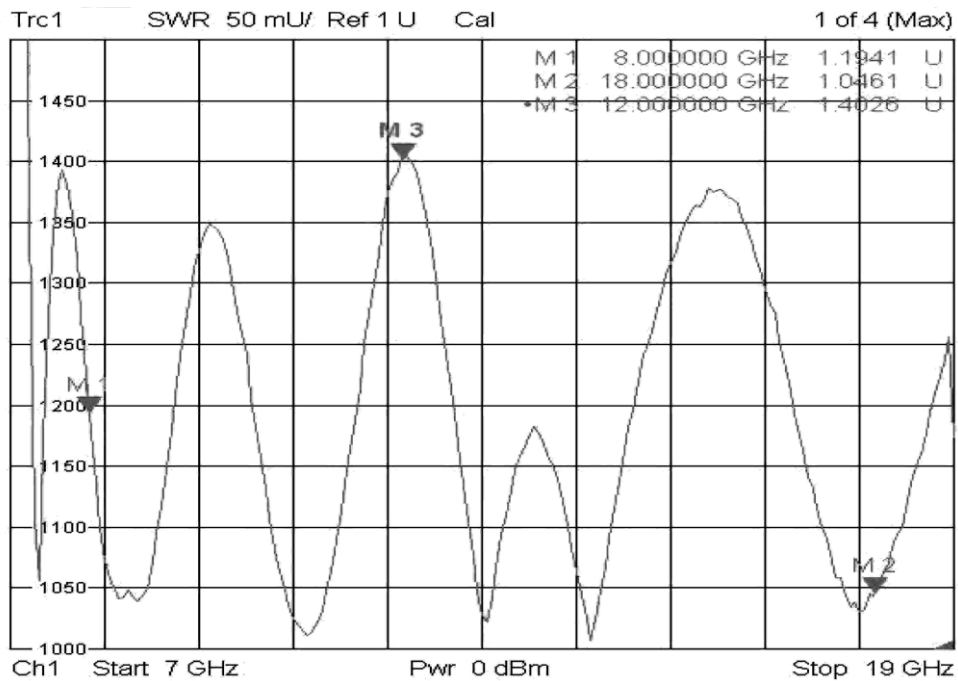


Рисунок 5

#### Библиографический список

1. Commault Y., Campan Y. US Patent Appl.: 4.139.828. Transition device between a coaxial line and a waveguide. Date: Feb. 13, 1979.
2. Simeoni M., Coman C. I., Lager I. E. Patch end-launchers – a family of compact collinear coaxial-to-rectangular waveguide transitions// IEEE Trans. 2006. Vol. MTT-54, N 4. P.1503–511.
3. McDonald O. US Patent Appl.: 3.725.824. Compact waveguide-coax transition. Date: April 3, 1973. Vol. 48. P.2051.
4. Rolfs J.C. US Patent Appl.: 4.463.324. Miniature coaxial line to waveguide transition. Date: July 31, 1984.
5. Yao H.W., Zaki K.A. Modeling generalized coaxial probes in rectangular waveguides // Proc. of IEEE MTT-S Symposium, 1995, P. 979–982.