

## Разработка и численное моделирование соосного коаксиально-волноводного перехода X-диапазона с емкостным типом связи

К.А. Саяпин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НПП «НИКА-СВЧ»

<sup>2</sup>СГУ им. Н.Г. Чернышевского

**Аннотация:** предложен коаксиально-волноводный переход емкостного типа с соосным расположением сочленяемых линий передачи. Разработан и численно исследован переход с коаксиальной линией сечением 4,15/1,27 мм на прямоугольный волновод с внутренним сечением 23×10 мм. Показано с помощью электродинамического моделирования, что коэффициент отражения портов устройства в диапазоне частот 9...11 ГГц не превышает -28 дБ. Предлагаемая структура перехода отличается от известных аналогов малыми габаритными размерами и высокой технологичностью.

**Ключевые слова:** коаксиально-волноводный переход, параметрическая оптимизация, прямоугольный волновод, коаксиальная линия передачи, электродинамическое моделирование

### 1. Введение

Коаксиально-волноводные переходы (КВП) предназначены для согласования коаксиальной линии передачи и волновода [1]. В зависимости от механизма электромагнитной связи между сочленяемыми линиями передачи различают переходы емкостного [2] и индуктивного [3-5] типов. Другим критерием классификации является взаимное расположение согласуемых трактов: КВП могут иметь либо уголковую [2], либо соосную [3-5] конфигурацию.

КВП соосного типа получили широкое распространение благодаря удобству их использования в радиоэлектронной аппаратуре с плотной компоновкой, устройствах мультиплексирования сигналов, а также при проведении радиоизмерений многопортовых волноводных устройств, где применение уголковых КВП зачастую вызывает ряд неудобств.

Классическая конструкция соосного КВП [3] образована закороченным с одной стороны отрезком волновода, через торцевую стенку которого введен центральный проводник коаксиальной линии, гальванически связанный с корпусом волновода через элемент связи – петлю, выступы в канале волновода и т.д. Для обеспечения надежного гальванического контакта центрального проводника коаксиала и волновода используется пайка или другие специальные механизмы фиксации. Данная конструктивная особенность накладывает ограничения на материалы, используемые для изготовления корпуса КВП, и снижает его технологичность.

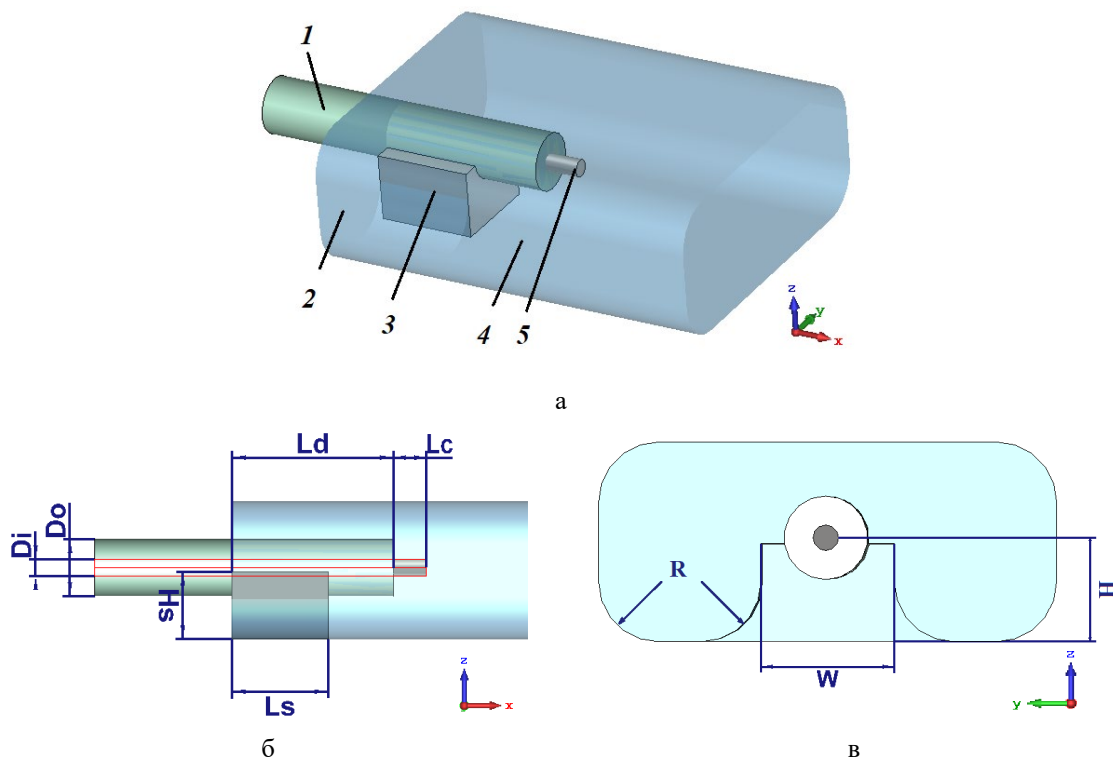
Для обеспечения работы соосных КВП в широком диапазоне частот в них используются ступенчатые трансформаторы сопротивлений на основе отрезков П-образного (реберного) волновода. При этом между ребром П-образного волновода и плоскостью короткого замыкания необходимо наличие зазора (согласующей полости), значение которого зачастую составляет менее 1 мм [1], что также негативно сказывается на технологичности и габаритах устройства.

Целью данной работы является разработка соосного коаксиально-волноводного перехода с емкостным типом связи, обладающего высокой технологичностью и лишенного других недостатков, присущих переходам с индуктивной связью.

## 2. Конструкция коаксиально-волноводного перехода и результаты его численного исследования

Трехмерная модель коаксиально-волноводного перехода предлагаемой конструкции показана на рисунке 1. Область связи выполнена в виде отрезка П-образного волновода 3, ребро которого примыкает к короткозамыкающей стенке 2 волновода 4 и имеет полукруглую выборку, в которой располагается твердый диэлектрик 1 с центральным проводником 5 коаксиального соединителя. Благодаря такой конструкции корпус КВП может быть выполнен из одной детали с помощью фрезеровки – для этого в волноводном канале предусмотрены радиусы скругления  $R$ .

В качестве примера рассмотрим переход с коаксиальной линии с внутренними размерами 4,15/1,27 мм (диэлектрическое заполнение – PTFE,  $\epsilon=2,1$ ) на волновод с поперечным сечением канала  $23 \times 10$  мм.



**Рисунок 1.** Трехмерная модель коаксиально-волноводного перехода (металлические стенки не показаны): а – изометрическая проекция, б – вид сбоку, в – вид со стороны коаксиальной линии; 1 – диэлектрическое заполнение коаксиальной линии, 2 – плоскость короткого замыкания, 3 – ребро отрезка П-образного волновода, 4 – отрезок прямоугольного волновода, центральный проводник коаксиальной линии.

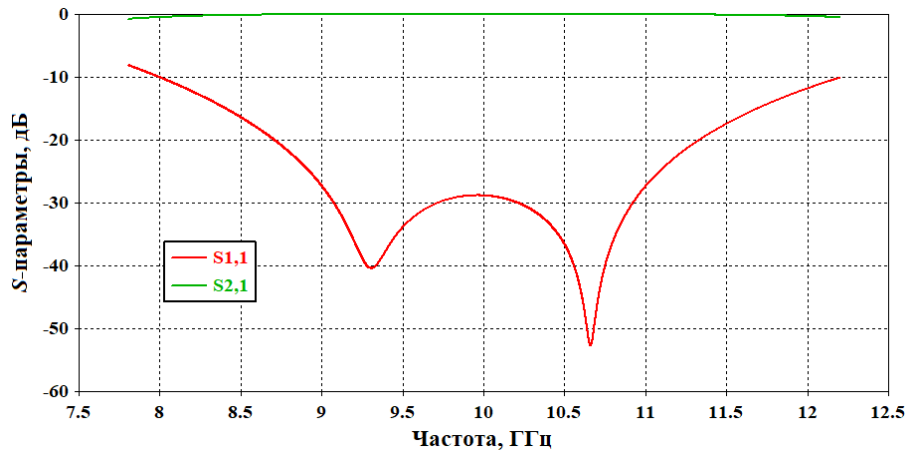
Для нахождения оптимальных геометрических размеров КВП использована параметрическая оптимизация с помощью метода Нелдера-Мида и метода доверительной области. В качестве варьируемых параметров использованы длина  $L_s$  и высота  $H_s$  отрезка П-образного волновода, длина находящейся в волноводной части коаксиальной линии  $L_d$  и длина  $L_c$  выступающего относительно диэлектрика центрального проводника, а также расстояние от продольной оси коаксиальной линии до широкой стенки волновода  $H$ . Целью оптимизации служила минимизация коэффициента отражения  $|S_{11}|$  в полосе частот 9...11 ГГц.

Оптимальные геометрические размеры КВП приведены в таблице 1. На рисунке 2 представлены результаты электродинамического моделирования. В диапазоне частот 9...11 ГГц величина коэффициента отражения портов составляет не более -28 дБ. На

краях рабочего диапазона волновода коэффициент отражения увеличивается до -10 дБ.

**Таблица 1.** Параметры коаксиально-волноводного перехода

$D_i$ , мм	$D_o$ , мм	$H_s$ , мм	$L_s$ , мм	$L_d$ , мм	$L_c$ , мм	$H$ , мм	$R$ , мм	$W$ , мм
1,27	4,15	4,9	7,0	11,81	2,38	5,2	3	6,7



**Рисунок 2.** Частотные характеристики электродинамической модели коаксиально-волноводного перехода.

Как показали исследования, оптимизация в полном рабочем диапазоне волновода нецелесообразна по причине недостаточной широкополосности элемента связи. Решить эту проблему можно за счет введения дополнительных элементов согласования – например, отрезков волновода с отличающимися от основного волновода размерами поперечного сечения.

Частичная фиксация диэлектрика коаксиальной линии в ребре отрезка П-волновода позволяет увеличить прочность КВП по сравнению с уголковыми аналогами. В КВП могут быть использованы стандартные коаксиальные соединители, имеющие необходимую длину коаксиальной линии: например, SMA-KFD129 и SMA-KFD205. Если длина коаксиальной линии больше требуемой на 2-5 мм, то за счет соответствующего выбора толщины торцевой стенки волноводного канала КВП можно обеспечить использование коаксиального соединителя без доработки его диэлектрической части, что также увеличивает технологичность производства.

### 3. Заключение

Разработан соосный переход емкостного типа с коаксиальной линии с размерами 4,15/1,27 мм на прямоугольный волновод с внутренним сечением 23×10 мм. Электродинамическое моделирование перехода показало, что коэффициент отражения  $|S_{11}|$  в диапазоне частот 9...11 ГГц составляет не более -28 дБ и увеличивается до -10 дБ на краях рабочего диапазона волновода. Коаксиально-волноводный переход предложенной конструкции имеет малые габаритные размеры и технологичную конструкцию, что позволяет рекомендовать его для использования в бортовой радиоэлектронной аппаратуре и других радиоэлектронных устройствах, где особое значение имеют массогабаритные параметры устройства.

### Список литературы

1. Боков С.И. и др. Устройства согласования линий передачи. Исследования для наземной и спутниковой связи. Внедрение в производство / Под ред. В.П. Мещанова. – М.: Радиотехника, 2019. – 374 с.
2. Bialkowski M.E. Analysis of a coaxial-to-waveguide adaptor including a discended probe and a tuning post // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1995. – V. 43. – № 2. – PP. 344–349.
3. Cano J.L., Mediavilla A. Octave bandwidth in-line rectangular waveguide-to-coaxial transition using oversized mode conversion // Electronics Letters. - 28th September 2017. - Vol. 53. – No. 20. – PP. 1370–1371.
4. Воробьев А.В. и др. Малогабаритные соосные коаксиально-волноводные переходы // Радиотехника. – 2019. – Т. 83. – № 7(10). – С.117-122.
5. Durga M., Tomar S., Singh S., Suthar L. Millimeter wave in-line coaxial-to-rectangular waveguide transition // IEEE Applied Electromagnetics Conference. – 2011.