

# Экспериментальное исследование частотной зависимости КСВН коаксиально-микроразъемных переходов

Коэффициент стоячей волны (КСВН) является основным параметром радиочастотных соединителей и, прежде всего, коаксиально-микроразъемных переходов (КМПП, переход). В технических условиях и рекламных материалах обычно приводят максимальную величину КСВН в рабочем диапазоне частот. Она определяется не только конструкцией перехода, но и методикой измерения КСВН. Особенности методики, как правило, не приводят, ограничиваясь ссылкой на стандарт (MIL-STD-202 — за рубежом, ГОСТ 20465-85 — в нашей стране). Иногда указывают тип примененного панорамного измерителя КСВН и ослабления. Между тем, стандарты регламентируют лишь стандартную процедуру измерения и обработки результатов. Главное же условие достоверности измерения КСВН — оптимальная конструкция измерительного устройства и технология установки в нем исследуемого КМПП [1], которые индивидуальны для перехода каждого конкретного типа.

В настоящей работе рассмотрены особенности конструкции измерительных устройств и приведены результаты измерений КСВН трех зарубежных и одного отечественного КМПП в диапазоне частот до 20 ГГц.

Владимир АЛЕКСЕЕНКОВ  
Андрей ВЕРЕЩАГИН  
Кива ДЖУРИНСКИЙ,  
к. т. н.

## Исследуемые КМПП

Были исследованы КМПП «розетка» с волновым сопротивлением 50 Ом следующих типов:

1. КРПГ.434511.015, ФГУП «НПП «Исток», Россия [1];
2. 2052-1215-02 фирмы M/A-COM (ныне Тусо), США [2];
3. 142-1701-191 фирмы Johnson Components (Emerson), США [3];
4. 23 SK-50-0-54/199 NE фирмы Huber+Suhner, Швейцария [4].

Основные параметры переходов (по данным фирм-производителей) приведены в таблице 1, а их внешний вид показан на рис. 1.

Переход КРПГ.434511.015 — тип IX по ГОСТ 20265-83 «Соединители радиочастотные коаксиальные. Присоединительные размеры», по своим техническим характеристикам является лучшим из отечественных аналогов [1]. Это герметичный (с внутренним

металлостеклянным спаем) резьбовой переход, вкручиваемый в стенку корпуса изделия и герметизируемый в корпусе низкотемпературной пайкой. Корпус перехода изготовлен из нержавеющей стали марки 15X25T, гнездовой контакт — из упрочненной бериллиевой бронзы, центральный проводник — из сплава 29НК, изолятор — из фторопласта. Металлические поверхности перехода покрыты износостойким сплавом золото-кобальт толщиной 3 мкм. Диаметр центрального про-

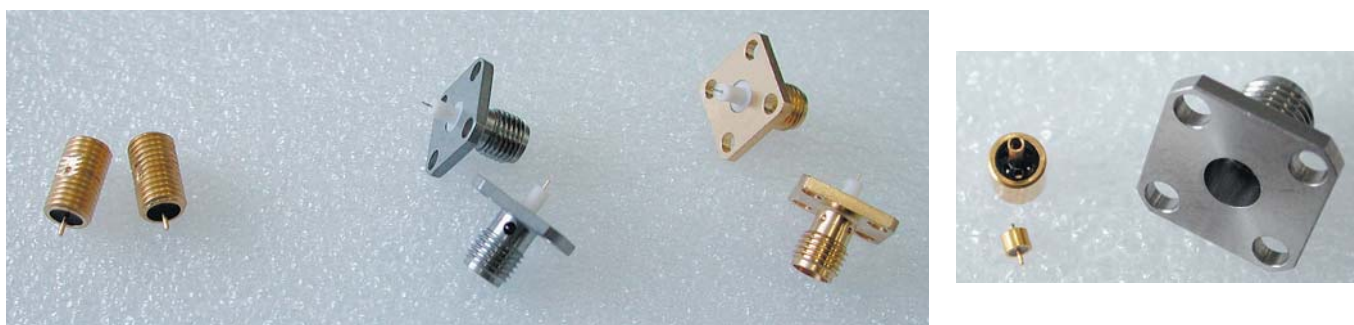


Рис. 1. Коаксиально-микроразъемные переходы: 1 — КРПГ.434511.015; 2 — 2052-1215-02; 3 — 142-1701-191; 4 — 23SK-50-0-54/199NE

Таблица 1. Основные параметры КМПП [1–4]

Параметр	Типы КМПП			
	КРПГ.434511.015	2052-1215-02	142-1701-191	23SK-50-0-54/199NE
Рабочий диапазон частот, ГГц	0–18			0–40
КСВН в диапазоне частот $f$ , ГГц	1,25	$1,05+0,05 f$ 1,14 макс	Зависят от условий применения	1,43
Прямые потери СВЧ, дБ (на частотах $f$ , ГГц)	0,25	$0,03 \sqrt{f}$ 0,13 макс		$0,04 \sqrt{f}$
Экранное затухание, дБ, на частоте $f$ , ГГц, менее	-60	$-(60-f)$	-70 (2,5)	-90 (3)
Сопротивление проводников, мОм, менее: наружного внутреннего	0,03	0,002 0,002	0,003 0,002	0,003 0,002
Сопротивление изоляции, МОм, более	5000	5000	10 000	5000
Герметичность (скорость натекания, $\text{м}^3 \times \text{Па} / \text{с}$ , менее)	$1,3 \times 10^{-11}$	Не регламентируется		$10^{-9}$
Допустимое количество соединений и рассоединений	100	500		500
Рабочий диапазон температур, °С	-60...+125	-55...+125		-55...+125

водника перехода КРПГ.434511.015 — 0,6 мм, что делает возможным его соединение с платой не только пайкой «внахлест», но и при помощи соединительной перемычки [1].

Это обеспечивает механическую развязку перехода от платы при температурных воздействиях.

КМПП 2052-1215-02 — негерметичный, фланцевый (квадратный фланец размером 12,7×12,7 мм), для фронтальной установки в корпус изделия при помощи винтов. Корпус перехода изготовлен из нержавеющей стали типа 303 (ASTM-A-582), гнездовой контакт и центральный проводник — из бериллиевой бронзы, покрытой золотом толщиной 2,54 мкм. Внутренний проводник и фторопластовый изолятор для предотвращения аксиального и радиального смещения закреплены в корпусе перехода при помощи столбика эпоксидной смолы (патент US 3.292.117). Фторопластовый изолятор и расположенный в нем центральный проводник диаметром 0,25 мм выступают за пределы фланца соответственно на 3,2 и 4,2 мм.

Переход 142-1701-191 аналогичен переходу 2052-1215-02. Отличие состоит лишь в способе фиксации центрального проводника и изолятора в корпусе перехода. Для предотвращения проворачивания во фторопластовом изоляторе на центральном проводнике сделана накатка, а сам изолятор закреплен в корпусе кернением. Корпус перехода изготовлен из латуни и покрыт золотом.

Все три КМПП являются соединителями базового типа SMA с коаксиальной линией размером 4,1/1,27 мм, заполненной фторопластом. Предельная рабочая частота соединителей SMA приборного назначения — 18 ГГц. Инструментальные и метрологические соединители SMA применяют на частотах до 26,5 ГГц.

Последний из исследованных переходов — 23SK-50-0-54/199 NE — является соединителем типа «К» с предельной рабочей частотой 40 ГГц и имеет воздушную коаксиальную линию размером 2,92/1,27 мм. Это герметичный «составной» соединитель фланцевого типа: СВЧ-разъем (собственно соединитель) в сочетании с 50-омным металлокерамическим вводом (СВЧ-вводом). СВЧ-ввод впаивают

в стенку корпуса изделия. Внутренний проводник перехода образуется при введении центрального проводника СВЧ-ввода в гнездовой контакт СВЧ-разъема. После этого фланец СВЧ-разъема прикручивают 4 винтами к корпусу изделия.

### Измерительные устройства

Внешний вид измерительных устройств показан на рис. 2.

Устройства для измерения КСВН исследуемых коаксиально-микрополосковых переходов представляют собой коробчатые корпуса из алюминиевого сплава, в противоположные стенки которых установлены два одинаковых перехода. Переходы соединены между собой микрополосковой или копланарной линией с волновым сопротивлением

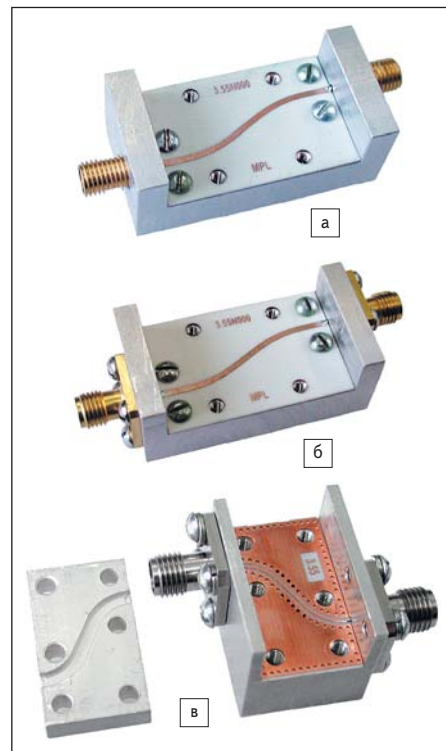


Рис. 2. Устройства для измерения КСВН переходов: а) КРПГ.434511.015; б) 2052-1215-02 и 142-1701-191; в) 23SK-50-0-54/199NE

50 Ом на печатной плате. Плата изготовлена из материала Rogers RO4003C с диэлектрической проницаемостью 3,55. Толщина платы для КМПП с предельной частотой 18 ГГц (КРПГ.434511.015, 2052-1215-02 и 142-1701-191) равна 0,508 мм. Для перехода 23 SK-50-0-54/199 NE с предельной частотой 40 ГГц толщина платы составляет 0,203 мм.

Для измерения КСВН переходов с предельной частотой 18 ГГц были применены печатные платы с микрополосковой линией, имеющей полосу шириной 1,1 мм. В случае перехода 23 SK-50-0-54/199 NE была использована копланарная линия шириной 0,403 мм и с зазором 0,3 мм.

Конструкции измерительных устройств показаны на рис. 3. Корпус устройства для перехода КРПГ.434511.015 (рис. 3а) имеет толщину стенки 5,2 мм и отверстия с резьбой М6х0,75 для вкручивания и последующей герметизации переходов низкотемпературной пайкой. В этом и во всех остальных измерительных устройствах для плавного перехода от КМПП к микрополосковой или копланар-

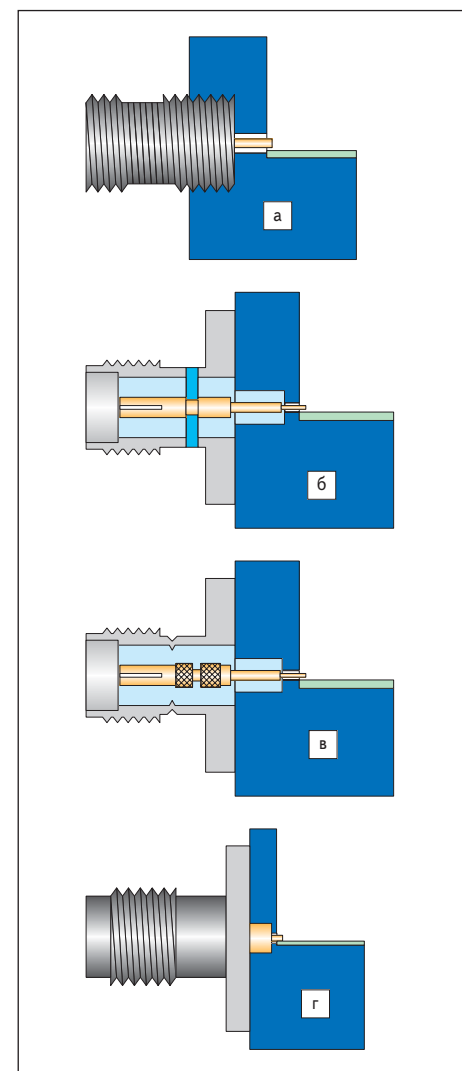


Рис. 3. Конструкции измерительных устройств для переходов КРПГ: а) 434511.015; б) 2052-1215-02; в) 142-1701-191; г) 23 SK-50-0-54/199NE

Таблица 2. Величина погрешности волнового сопротивления микрополосковой и копланарной линий

Тип линии	Параметры				Погрешность, %
	Диэлектрическая проницаемость	Толщина подложки, мм	Ширина полоски, мм	Ширина зазора, мм	
Микрополосковая	3,55 ± 0,05	0,508 ± 0,025	1,1 ± 0,02	—	± 4,9
Копланарная	3,55 ± 0,05	0,203 ± 0,010	0,43 ± 0,02	0,30 ± 0,02	± 6,4

ной линии и обеспечения оптимального согласования в корпусах устройств предусмотрена так называемая «трансформаторная» секция — переходная воздушная коаксиальная линия. Наружный диаметр этой линии (D), исходя из условия равенства ее волнового сопротивления 50 Ом, должен быть равен  $D = 2,3d$ , где d — диаметр центрального проводника КМПП. В устройстве для измерения КСВН перехода КРПГ 434511.015 эта секция имеет размеры 1,38×0,6 мм и длину 2,2 мм.

Корпуса измерительного устройства для фланцевых переходов 2052-1215-02 (рис. 3б) и 142-1701-191 (рис. 3в) имеют толщину стенки 4,2 мм. Отверстия в корпусах под установку этих переходов, имеющих достаточно длинные центральные проводники (рис. 1), заканчиваются «трансформаторной» секцией с размерами 0,6×0,25 мм и длиной 1 мм.

Переходы 23SK-50-0-54/199NE были установлены в корпус с толщиной стенки 1,85 мм измерительного устройства (рис. 3г). «Трансформаторная» секция имеет размеры 0,74×0,32 мм и длину 0,35 мм.

Центральные проводники всех исследованных КМПП соединяли с микрополосковой или копланарной линией «внахлест». При этом проводник размещается непосредственно на полоске. Такое соединение нельзя рекомендовать для применения в изделиях микроэлектроники СВЧ, так как оно уязвимо при термоциклировании. Однако в измерительных устройствах оно оправдано, так как если диаметр центрального проводника меньше ширины полоски, оно не вносит в измерительную схему заметного емкостного рассогласования.

### Методика измерения КСВН

КСВН пары КМПП измеряли «на проход» при помощи векторного анализатора цепей 37347D фирмы Anritsu [5]. В диапазоне частот до 20 ГГц анализатор обеспечивает погрешность измерения при величине КСВН от 1,02 до 2,0 — менее 1%, а при КСВН до 10 — менее 4%. При этом одновременно определяется вся комплексная матрица S-параметров измеряемого объекта. Согласно ГОСТ 20465-85 «Соединители радиочастотные коаксиальные. Общие технические условия» измерение КСВН допускается любыми методами, обеспечивающими погрешность измерения не более 10%.

Измеренная величина КСВН определяется не только собственным КСВН перехода с учетом областей перехода на микрополосковую или копланарную линию, но зависит также и от величины волнового сопротивления этой линии. Точность воспроизведения волнового сопротивления линии определяется технологическим разбросом ее параметров: диэлектрической проницаемости материала подложки, ее толщины и геометрических размеров полосковой линии. Результаты расчета погрешности волнового сопротивления микрополосковой и копланарной линий представлены в таблице 2. При выполнении расчета были использованы данные фирмы-производителя фольгированного диэлектрика RO 4003C [6], а также данные по изготовлению печатных плат современными комбинированными методами [7].

При этом погрешность определяется в основном разбросом толщины подложки и точностью изготовления полосковой линии.

### Результаты измерений

Сравнительные результаты измерений в диапазоне частот 0,04–20 ГГц КСВН пары одинаковых коаксиально-микрополосковых переходов 2052-1215-02 (фирмы M/A-COM) и 142-1701-191 (фирмы Johnson Components) представлены на рис. 4. Максимальный КСВН переходы обоих типов имеют на частоте приблизительно 11,5 ГГц — соответственно 1,3 и 1,5. Этот результат подтверждает высокую репутацию фирмы M/A-COM, внесшую наибольший вклад в создание коаксиальных соединителей, начиная с типа SMA и заканчивая 1,0-миллиметровыми соединителями с предельной частотой 110 ГГц [1].

Более высокий уровень КСВН переходов 142-1701-191 возможно обусловлен способом фиксации центрального проводника и фторопластового изолятора в корпусе (путем кернения) и отсутствием должного электродинамического моделирования неоднородностей такой фиксации и их оптимальной компенсации.

На рис. 5 представлены сравнительные результаты измерений в диапазоне частот 0,04–20 ГГц КСВН переходов КРПГ 434511.015 ФГУП «НПП «Исток» и 23SK-50-0-54/199NE фирмы Huber + Suhner. Максимальный КСВН перехода КРПГ 434511.015 приходится на частоту 16 ГГц и не превышает 1,3 на пару переходов. Переходы 23SK-50-0-54/199 NE во всем частотном диапазоне имеют КСВН менее 1,2. Низкий уровень КСВН объясняется тем, что эти переходы имеют воздушную коаксиальную линию меньших размеров (2,92×1,27 мм) и, вследствие этого, большую предельную рабочую частоту.

### Выводы

1. Разработана методика измерения КСВН коаксиально-микрополосковых переходов и измерительные устройства, обеспечивающие погрешность измерения менее 10%.

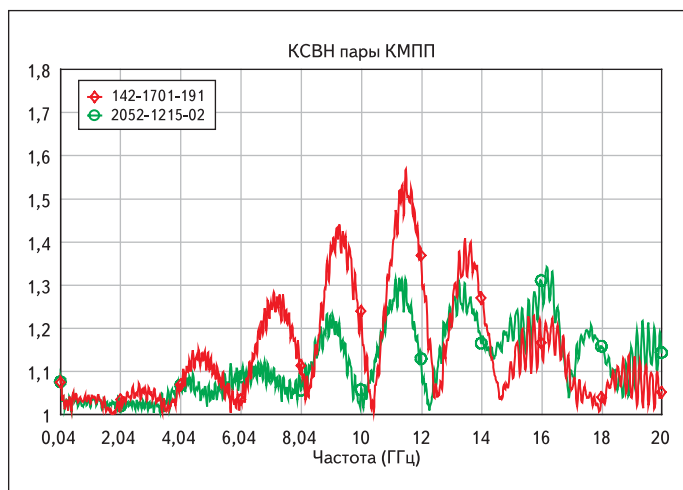


Рис. 4. Частотные зависимости КСВН переходов 142-1701-191 (красный) и 2052-1215-02 (зеленый)

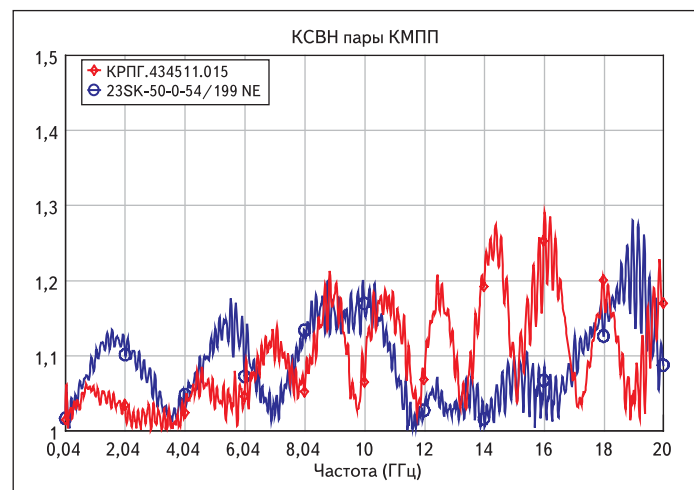


Рис. 5. Частотные зависимости КСВН переходов КРПГ 434511.015 (красный) и 23SK-50-0-54/199 NE (синий)

2. Наилучшие параметры согласования имеет переход 23SK-50-0-54/199 NE фирмы Huber+Suhner (Швейцария).
3. Из всех обследованных КМПП типа SMA лучшие параметры имеет переход КРПГ 434511.015 ФГУП «НПП «Исток». КСВН пары таких переходов на частотах до 12 ГГц даже меньше, чем у перехода 23SK-50-0-54/199NE. К тому же, максимальное значение КСВН у отечественно-

го перехода приходится на частоту 16 ГГц (а не на 11,5 ГГц, как для зарубежных аналогов — 2052-1215-02 и 142-1701-191), что делает его широкополосным. ■

#### Литература

1. Джуринский К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006.
2. Coaxial Connectors, Adaptors, Tool and Accessories. Каталог фирмы M/A-COM Omni-Spectra, 1997.
3. [www.jonssoncomponents.com](http://www.jonssoncomponents.com)
4. [www.hubersuhner.com](http://www.hubersuhner.com)
5. Anritsu Corporation, Technical datasheet & Configuration guide, 37000D, Vector Network Analyzers.
6. [www.rogerscorporation.com](http://www.rogerscorporation.com)
7. Медведев А. М. Печатные платы. Конструкция и материалы. М.: Техносфера, 2005.