

# Топология согласующего участка широкополосного коаксиально-копланарного перехода

А.А. Андреев<sup>1,2</sup>, А.Н. Сафронов<sup>2</sup>, А.В. Байкин<sup>2</sup>, А.С. Сахнов<sup>2</sup>, С.А. Сергеев<sup>1</sup>, Е.А. Рябов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского

<sup>2</sup>ООО «Миг Трейдинг»

**Аннотация:** В работе представлен коаксиально-копланарный переход, работающий в частотном диапазоне до 40 ГГц. Разработана топология согласующего участка СВЧ-платы на подложке Rogers 4003C (RO4003C) толщиной 0,203 мм, обеспечивающая КСВН коаксиально-копланарного перехода не более 1,07 во всем диапазоне частот.

**Ключевые слова:** коаксиально-копланарный переход, СВЧ диапазон, топология согласующего участка СВЧ-платы, КСВН

## 1. Введение

В современных широкополосных СВЧ-устройствах фильтрации, усиления и преобразование сигналов обычно осуществляется узлами, располагаемыми на СВЧ печатных платах. Однако разместить все узлы на одной плате часто невозможно, поэтому устройство может делиться на функциональные модули. Для передачи СВЧ сигнала между несколькими печатными платами широко используются коаксиальные линии передачи, в то время как на СВЧ печатных платах используются копланарные и микрополосковые линии. Для уменьшения потерь мощности сигнала на переходе из одной линии в другую требуется согласование линий [1 – 18]. Основными методами улучшения характеристик передачи коаксиально-копланарных переходов в широком диапазоне частот являются оптимизация параметров топологии копланарной линии вблизи монтажа коаксиального разъёма, изменение геометрических параметров коаксиальной линии и использование заземлённой копланарной линии вместо обычной [3 – 18]. В данной статье представлена топология согласующего участка широкополосного перехода из коаксиальной линии в заземлённую копланарную.

Задачи данного типа по численному моделированию будут использоваться на кафедре физики твёрдого тела в учебном процессе при проведении лабораторных работ и семинарских занятий по СВЧ и полупроводниковой электронике [19 – 25], а также, разработанный переход будет использован при исследовании характеристик жидких коллоидов микро- и наночастиц в СВЧ диапазоне [26 – 28].

## 2. Конструкция и методология

Спроектирован коаксиально-копланарный переход для копланарной линии [1] и коаксиального разъёма 2,92 мм, имеющего диаметр центрального проводника  $d_1 = 0,5$  мм и диаметр диэлектрика  $d_2 = 1,65$  мм в области монтажа на СВЧ-плату. В качестве подложки печатной платы использован материал RO4003C [29], толщиной  $h = 0,203$  мм, имеющий диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon = 3,38$ . Заземлённая копланарная линия имеет ширину полоска  $w = 0,34$  мм. Зазор между центральным полоском и земляным полигоном  $s = 0,2$  мм. Используются два ряда переходных отверстий диаметром  $d = 0,2$  мм, расположенных в шахматном порядке (рисунки 1, 2).

Разработана топология, изображённая на рисунке 2. Проведено численное моделирование S-параметров заземлённой копланарной линии с одним коаксиальным

разъёмом. Для расчетов использован программный пакет Ansys Electronics Desktop 2025R1 [30]. В качестве одного из портов выбрана плоскость диэлектрика коаксиальной линии, а в качестве второго – плоскость с идеальным проводником (PEC).

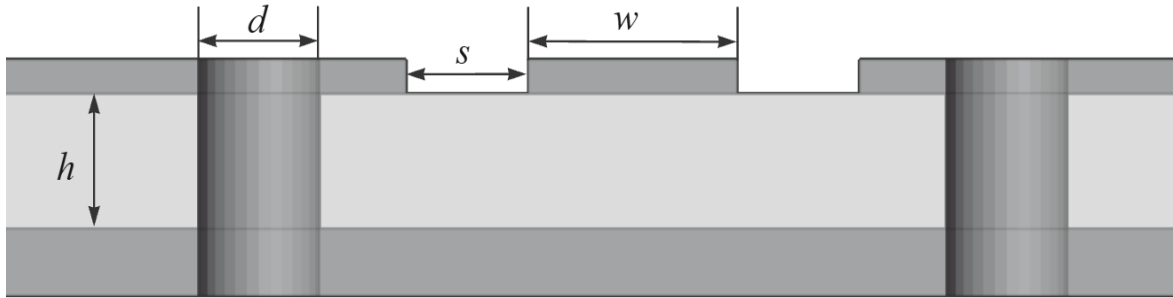


Рисунок 1. Условные обозначения размеров заземленной копланарной линии.

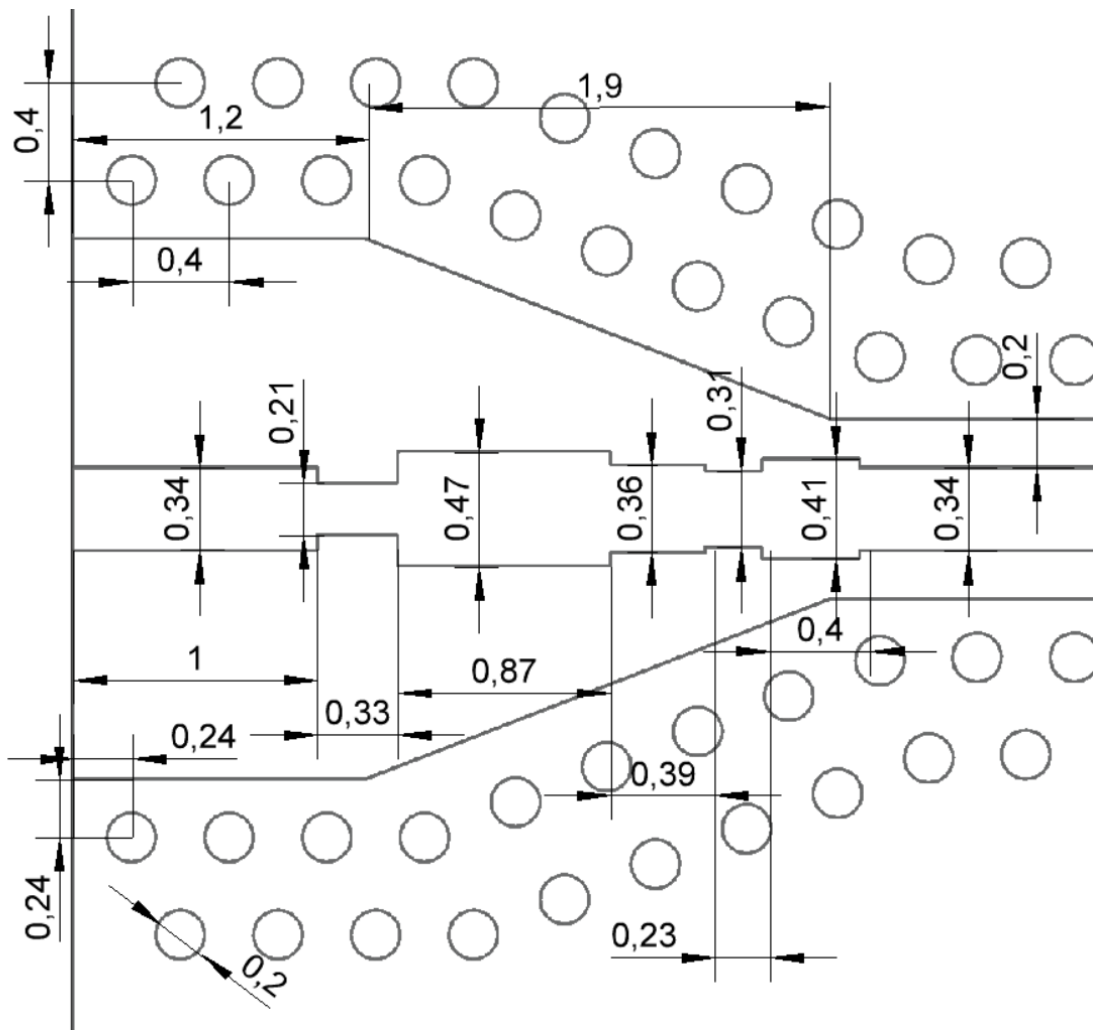


Рисунок 2. Параметры топологии (в мм) СВЧ-платы в месте монтажа коаксиального разъёма.

### 3. Результаты и обсуждение

Путём изменения параметров рассчитана топология, обеспечивающая коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) не более 1,07 (рисунок 3). Параметры топологии представлены на рисунке 1. Проведен сравнительный анализ результатов численного моделирования коаксиально-копланарных переходов с

участком копланарной линии длиной 1 см при оптимальной топологии согласующего участка и при неоптимальной топологии (без согласующего участка) (рисунки 3 и 4).

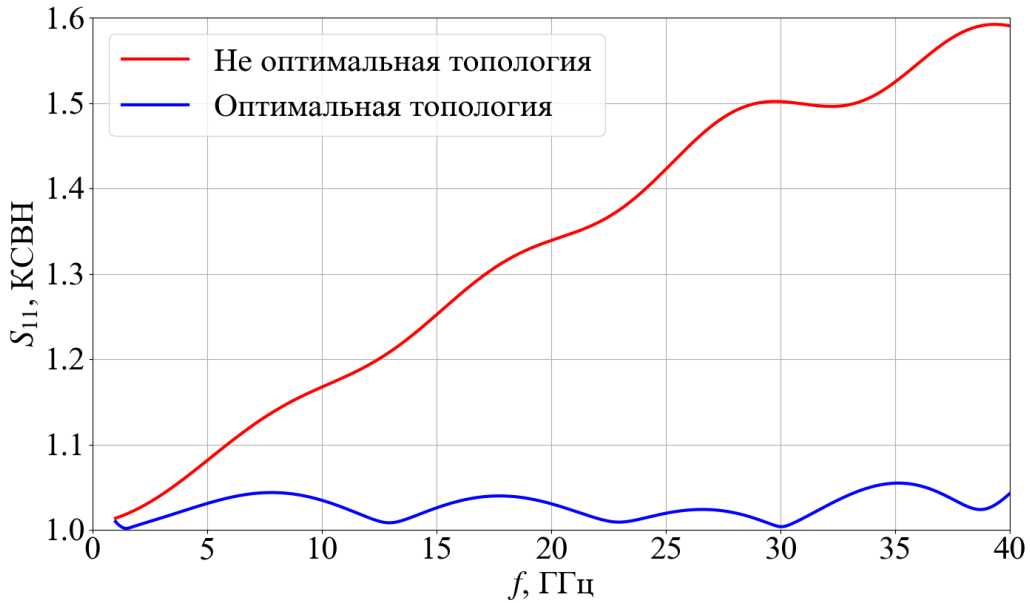


Рисунок 3.  $S_{11}$ -параметры коаксиально-копланарных переходов.

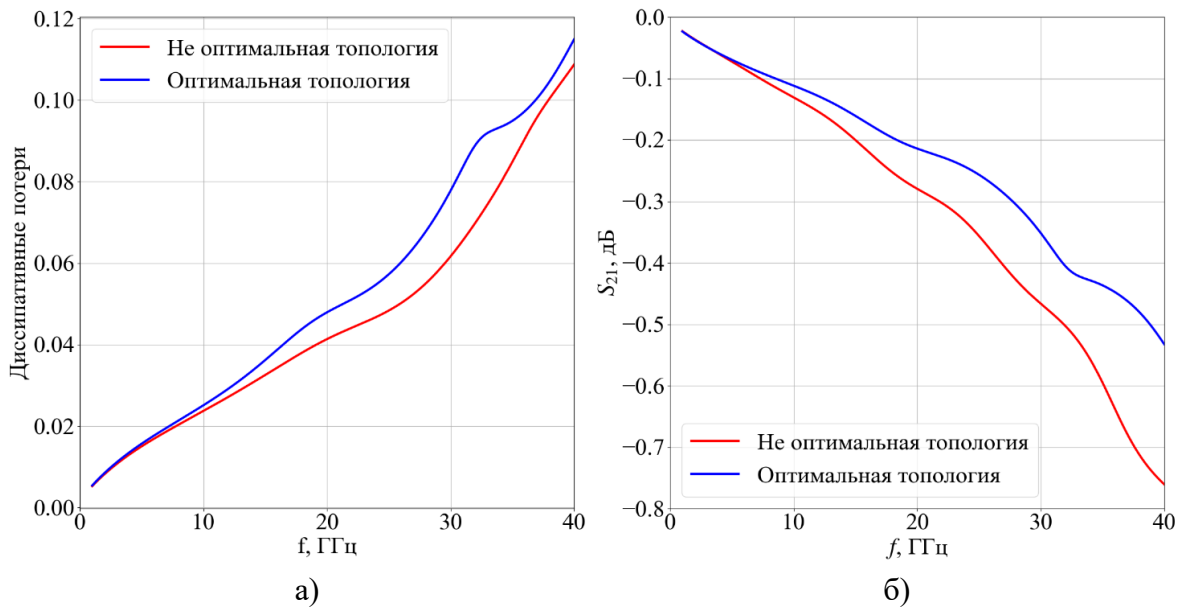


Рисунок 4. а) Потери на излучение и нагрев, б) коэффициент передачи коаксиально-копланарных переходов.

Из сравнения видно, что на частоте 40 ГГц КСВН перехода уменьшился с 1,6 до менее 1,1, это соответствует уменьшению потерь на отражение на более чем 11 дБ. Наблюдается увеличение диссипативных потерь, связанных с излучением. Потери на излучение возросли за счёт увеличения зазора между сигнальным проводником и земляным полигоном согласующего участка. Несмотря на это, коэффициент передачи  $S_{21}$  увеличился за счет большего уменьшения потерь на отражение  $S_{11}$ .

#### 4. Заключение

В ходе выполнения работы была разработана и исследована топология согласующего участка широкополосного коаксиально-копланарного перехода,

функционирующего в частотном диапазоне до 40 ГГц. Основной целью являлось достижение минимальных потерь на отражение.

Разработанная топология согласующего участка СВЧ-платы позволяет оптимизировать характеристики СВЧ-плат на основе RO4003С толщиной 0,203 мм, которые используются в диапазоне до 40 ГГц.

Численное моделирование и оптимизация геометрических параметров переходной области позволили получить значение КСВН, не превышающее 1,07 в рабочем диапазоне. Данный показатель свидетельствует о согласовании волнового сопротивления коаксиального тракта с импедансом копланарной структуры, что минимизирует паразитные переотражения сигнала. Достигнутое уменьшение потерь на отражение, превосходит средние показатели для известных аналогов, описанных в работах [8, 14 – 18].

#### Список литературы

1. Сафронов А. Н., Корнилов И. С. Патент № RU2743070С1. Волновод с копланарно-волноводной согласующей линией передачи. № 2020116692: заявл. 24.04.2020: опубл. 15.02.2021. – 14 с.
2. Смоленцев Н. И. Микроэлектроника СВЧ. Учебное пособие. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 124 с.
3. Шпагин Д. А. Разработка копланарно-коаксиального согласующего перехода для тонкоплёночных СВЧ-резисторов // Материалы XI Научно-практической конференции молодых учёных, аспирантов и специалистов. Менделеево, 2024. – С. 160-165.
4. Kamei T. et al. Wide-band coaxial-to-coplanar transition // IEICE transactions on electronics. – 2007. – V. 90. – № 10. – P. 2030-2036.
5. Кузнецов Д. И., Саттаров И. К., Тюхтин М. Ф., Хаиров А. М. Патент № RU2080700С1. Коаксиально-полосковый переход. № 5041876/09. заявл. 13.05.1992: опубл. 27.05.1997.
6. Sherrer D. W., Rollin J. M. Coaxial transmission line microstructure including an enlarged coaxial structure for transitioning to an electrical connector. – 8542079 USA. – 2013.
7. Лицов А. А. Патент на полезную модель № RU228302U1. Переход для микроволнового коаксиально-копланарного измерительного устройства. № 2024109511; заявл. 09.04.2024; опубл. 22.08.2024, Бюл. № 24. – 17 с.
8. Хорошилов Е. В., Козлов С. В., Павлов С. В., Дроздов А. В. Сверхширокополосный коаксиально-микрополосковый переход с диапазоном рабочих частот 0–50 ГГц // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2017. – С. 128-130.
9. Джуринский К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ: соединители, коаксиально-микрополосковые переходы, адаптеры, СВЧ-вводы, низкочастотные вводы, изоляционные стойки, фильтры помех. 2-е изд. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.
10. Корнев А. Особенности применения коаксиально-микрополосковых переходов для поверхностного монтажа типа SMP // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2019. – Т. 5 (00186). – С. 106-111.
11. Samoylichenko M. A., Zhechev Y. S., Gazizov T. R. Signal integrity analysis of modal filters formed by modification of microstrip lines and coplanar waveguides // IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. – 2024. – V. 13. – № 1. – P. 35-41.
12. Dhar S. Analysis and testing of fundamental coplanar waveguide circuits // Master's Thesis Faculty of Information Technology and Communication Sciences. – 2025. – 54 p.
13. Парижанкова А. В. и др. Интегрированные в подложку волноводы, их свойства и применимость при решении практических задач X-и Ku-Диапазонах // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2024. – С. 287-291.
14. Петененко Я. А., Тренкаль Е. И. Измерение диэлектрической проницаемости на основе микрополосковой линии: сравнение двух способов реализации // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2025. – Т. 28. – № 1. – С. 39-45.

15. Holzman E. Essentials of RF and microwave grounding. – Artech, 2006. – 207 p.
16. Верещагин А., Алексеенков В., Джуринский К. Экспериментальное исследование частотной зависимости КСВН коаксиально-микроразрывных переходов // Компоненты и технологии. – 2008. – № 81. – С. 53-56.
17. Михайлов А. И., Сергеев С. А. Волноводно-копланарный переход. Патент (РФ). 2081482 РФ, МКИ Н 01 Р 5/107. № 94022119/09; Опубл. 10.06.97.
18. Coonrod J. Signal Launch Methods for RF/Microwave PCBs // Microwave Journal. – 2014. – P. 1-5.
19. Михайлов А. И. и др. Физические основы твердотельной электроники: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. – 164 с.
20. Михайлов А. И. и др. Физические основы твердотельной электроники и микроэлектроники: Планы семинарских занятий. – Саратов: Промышленность Поволжья, 2008. – 116 с.
21. Сергеев С. А. Компьютер в физической лаборатории: учеб.- метод. пособие – Саратов: Промышленность Поволжья, 2008. – 368 с.
22. Панарин В. А. и др. Методы биофотоники для исследования сложных систем. – Саратов: Изд-во «Амирит», 2017. – 104 с.
23. Михайлов А. И., Сергеев С. А. Физические основы твердотельной электроники: Учеб. пособие. – 2-е изд., с изм. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2020. – 192 с.
24. Портнов С. А. и др. Физика и химия границ раздела фаз: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2015. – 132 с.
25. Иноземцева О. А. и др. Физика и химия коллоидных систем: учеб. пособие. – Саратов: Изд-во «Саратовский источник», 2016. – 168 с.
26. Сергеев С. А. и др. Исследование свойств водотопливных эмульсий с наночастицами магнетита на сверхвысоких частотах // В мире научных открытий. – 2014. – № 4(52). – С. 148-160.
27. Сергеев С. А. и др. Коллоиды магнетита: получение и исследование свойств в СВЧ диапазоне // Полупроводниковая электроника и молекулярные нанотехнологии: сб. статей. – Саратов: Наука, 2013. – С. 214-228.
28. Андреев А. А., Рябов Е. А., Сергеева Б. В. и др. Метод определения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков в X-диапазоне частот // Электроника и микроэлектроника СВЧ. – 2025. - Т. 1. – С. 411-415.
29. Rogers Corporation. RO4003C™ Laminates: [сайт]. – Chandler, 2024. – URL: <https://www.rogerscorp.com/advanced-electronics-solutions/ro4000-series-laminates/ro4003c-laminates> (дата обращения: 28.02.2026).
30. ANSYS HFSS, версия 2025 R1 [Электронный ресурс] / ANSYS, Inc. – URL: <https://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss> (дата обращения: 28.02.2026).