

# Моделирование широкополосного перехода с симметричной на несимметричную микрополосковую линию

**Александр Курушин (Москва)**

Благодарим за помощь в работе Петра Александровича Вьюгина и Сергея Евгеньевича Банкова

**В статье рассматривается широкополосный переход от симметричной двухпроводной линии к несимметричной микрополосковой линии. Расчёт и оптимизация выполняются с помощью программы HFSS ANSYS. Исследуются потери на излучение и тепловые потери перехода. Получены экспериментальные характеристики перехода.**

Современные радиосистемы всё в большей степени становятся цифровыми, работающими с высокими тактовыми частотами. Поэтому информационная пропускная способность системы определяется в основном аналоговыми компонентами радиосистемы: антеннами и линиями передачи.

Делители и сумматоры мощности часто применяются в системах, радиотрактах, им ставится требование частотной независимости их характеристик. Во многих конструкциях, например в широкополосных фазированных антенных решётках, необходимо использовать широкополос-

ный переход, с одной стороны которого подключается микрополосковая линия (несимметричная), с другой стороны – двухпроводная линия (симметричная). На рисунке 1 показан такой переход, созданный на диэлектрической подложке.

В показанной на рисунках 1а и 1б структуре сосредоточены два последовательно включённых перехода, которые и являются предметом нашего внимания. Экспоненциальное изменение геометрии в этом переходе, так же как и в антеннах Вивальди, в логопериодических структурах приводит к широкополосности этих структур в несколь-

ко октав. Однако нужно иметь инструмент для расчёта и оптимизации таких структур.

Численные методы электродинамического анализа (метод конечных элементов, реализованный в HFSS ANSYS) хорошо согласуются с экспоненциальными и другими плавными переходами, поскольку используют разбиение на тетраэдральные объёмные элементы конечной формы и размеров для разбиения искривлённых поверхностей.

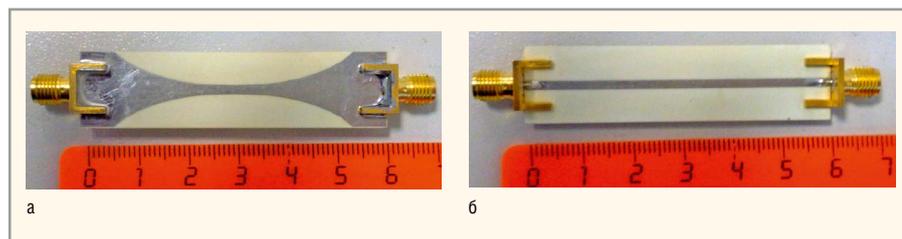
## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА И ОПТИМИЗАЦИИ НА HFSS ШИРОКОПОЛОСНОГО МПЛ-ПЕРЕХОДА

Преимуществом анализа регулярных и неоднородных структур СВЧ с помощью программ электродинамического моделирования, наряду с высокой точностью, превосходящей точность эксперимента, является то, что имеется возможность рассчитывать не только частотные характеристики передачи, но и характеристики ближнего и дальнего поля излучения. Рассматриваемая МПЛ имеет ширину 1,81 мм, что соответствует характеристическому импедансу линии 50 Ом на подложке с толщиной 0,762 мм, с проницаемостью 3,55 и тангенсом диэлектрических потерь 0,0027 (материал Rogers-404). Модель перехода в HFSS показана на рисунке 2.

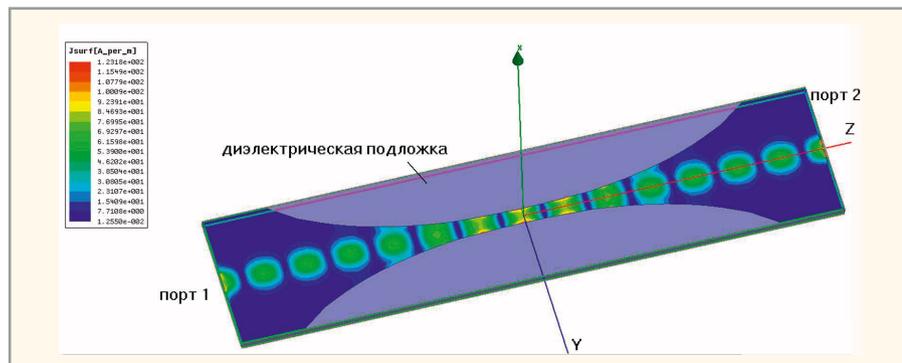
Экспериментально измеренные частотные характеристики коэффициента стоячей волны КСВ (снизу) и модуля коэффициента передачи (сверху) представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что рабочая полоса пропускания перехода простирается от 1 до 20 ГГц, однако на частоте 8 ГГц имеется провал коэффициента передачи на 2 дБ. Расчёт на HFSS также показал подобный провал в частотной характеристике (см. рис. 4а).

Чтобы выяснить причину появления резонансного спада модуля коэффициента передачи перехода на частоте 8 ГГц, были удалены выступы в районе



**Рис. 1. Виды перехода:** а – вид перехода «полосковая–микрополосковая» со стороны отражательной (земляной) платы; б – конструкция перехода с симметричной на несимметричную микрополосковую линию (вид со стороны микрополосковой линии)



**Рис. 2. Два последовательных перехода с несимметричной на симметричную линию (модель на HFSS); ток на частоте 20 ГГц на поверхности земляной стороны**

коаксиально-микроразветвляющихся переходов. Это привело к исключению паразитного резонанса и выровняло частотную характеристику в реальном МПЛ-переходе (см. рис. 4б). Экспериментально это было подтверждено. Расчёты на HFSS ANSYS, при условии адаптивного разбиения тетраэдральной сетки в методе конечных элементов, показывают совпадение с экспериментальными расчётами до 1–2%, и зачастую снимают проблему макетирования СВЧ-узлов. Время расчёта на персональном компьютере занимает несколько минут.

**Соотношение между потерями на излучение и тепловыми потерями в переходе**

Известно, что частотные свойства фильтров и переходов зависят от потерь этого устройства. Анализируемый МПЛ-переход имеет два порта. Если бы он не обладал потерями, то условие его диссипативности записывалось как:

$$|S_{11}|^2 + |S_{12}|^2 = 1, \quad (1)$$

где  $S_{ij}$  – элементы матрицы рассеяния [S] четырёхполюсника, описывающего двухпортовую структуру.

Однако в МПЛ-переходе имеются два типа потерь: потери тепловые и потери на излучение. Переход работает как антенна, и часть мощности поглощается в пространстве. Поэтому диссипативность, с учётом дополнительных потерь, записывается как:

$$|S_{11}|^2 + |S_{12}|^2 + P_{изл} + P_{тепло} = 1, \quad (2)$$

где  $P_{изл}$  – мощность на излучение,  $P_{тепло}$  – тепловые (резистивные) потери.

Для расчёта мощности излучения используем уникальную возможность HFSS ANSYS рассчитывать соотношение мощности, падающей на структуру, и мощности излучения, а также КПД антенной системы. Для этого окружим переход поверхностью поглощения мощности Radiate. В программе HFSS имеется возможность вывести мощности излучения любой структуры, охваченной боксом излучения, а также 3D-диаграмму направленности (см. рис. 5).

На частоте 20 ГГц соотношения между мощностями, при условии, что на

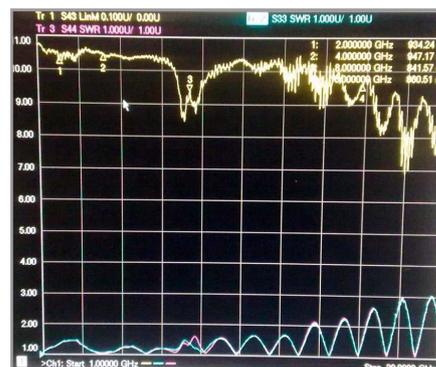


Рис. 3. Измеренные частотные характеристики перехода

порт 1 поступает мощность 1 Вт, показаны в диалоге Antenna Parameters (см. рис. 6).

Общая поглощённая мощность Accepted – это мощность, равная разнице между падающей на структуру (Incident) и мощностью, поглощённой антенной. Эта величина в терминах элементов матрицы [S] равна

$$P_{accept} = P_{in}(1 - |S_{21}|^2). \quad (3)$$

Из данных рисунка 6а получаем, что разность мощностей  $0,303 - 0,204 = 0,1$  Вт

Используете несколько разных САПР для одного проекта?

# Работайте с ANSYS® DesignerRF

**Решайте комплексные задачи из ОДНОГО приложения**

- анализ целостности сигналов
- электромеханическое моделирование
- тепловой анализ
- анализ интегральных микросхем
- моделирование радиочастотных схем
- высокопроизводительные вычисления

Техническая поддержка Обучение Дизайн-проекты

Тел.: +7 (495) 943-50-32, www.orkada.ru

**оркада**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ПАРТНЕР

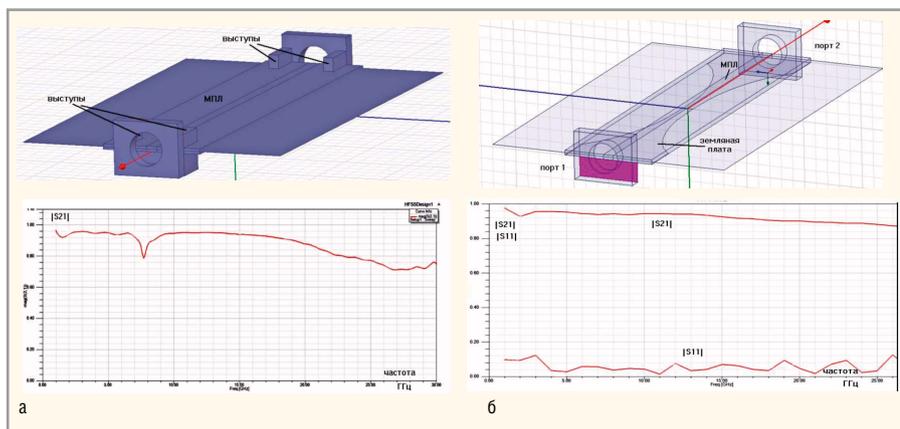


Рис. 4. Модели и их частотные характеристики, рассчитанные на HFSS для разъемов с выступами (а) и без выступов (б)

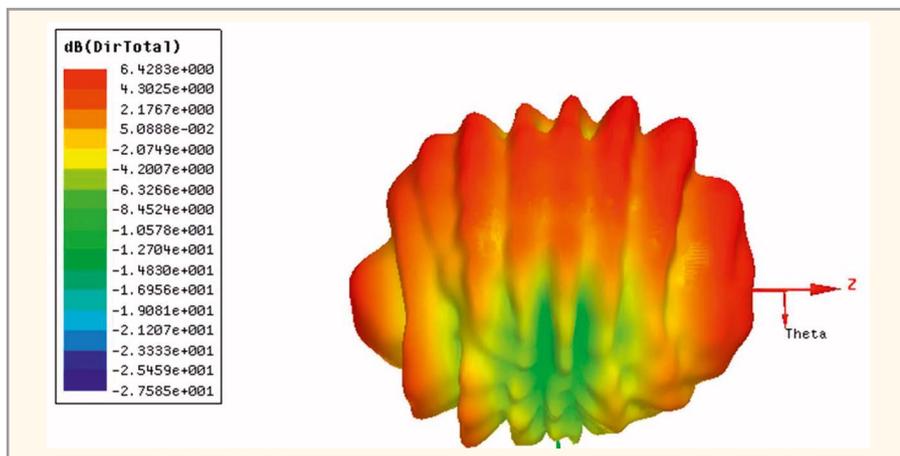


Рис. 5. Диаграмма направленности излучения МПП-перехода

Antenna Parameters:				Antenna Parameters:			
Quantity	Unit	Freq	Value	Quantity	Unit	Freq	Value
Max U		20GHz	0.073254 W/sr	Max U		20GHz	0.022876 W/sr
Peak Directivity			4.5128	Peak Directivity			3.9114
Peak Gain			3.0385	Peak Gain			4.161
Peak Realized Gain			0.92056	Peak Realized...			0.28747
Radiated Power			0.20399 W	Radiated Power			0.073496 W
Accepted Power			0.30297 W	Accepted Power			0.069087 W
Incident Power			1 W	Incident Power			1 W
Radiation Efficiency			0.67331	Radiation Effici...			1.0638
Front to Back Ratio			14.136	Front to Back R...			4.044
Decay Factor			0	Decay Factor			0

Рис. 6. Соотношения между мощностями: а – соотношения между принятой и излученной мощностью при наличии потерь в переходе; б – соотношения между мощностями при отсутствии потерь в переходе

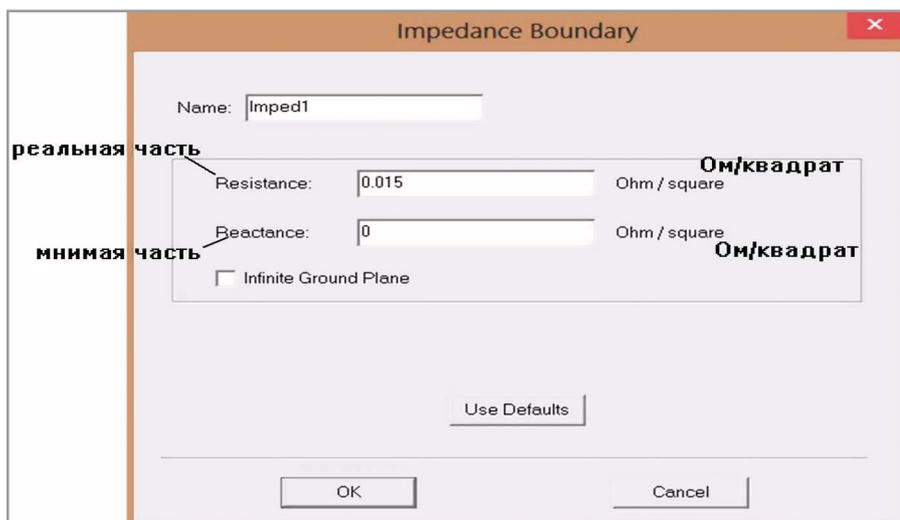


Рис. 7. Постановка граничных условий с потерями на поверхность металла

составляет тепловые потери (10%), а величина 0,204 Вт – потери излучения Radiated (20%). Коэффициент полезного действия антенны (КПД) в терминах диалога рисунка 6, Radiation Efficiency = 0,204 / 0,303 = 0,67.

Снимем теперь потери на металлических поверхностях перехода. Из рисунка 5 видим, что в этом случае мощность на излучение равна мощности поглощённой (с точностью 0,6%) и составляет 0,07 Вт, т.е. 7% мощности на излучение и на отражение, и КПД = 1. По этим данным можно заключить, что общая поглощаемая переходом мощность делится на: 20% – излучение, 0% – тепловые потери. Если тепловых потерь нет, то это значит, что вся мощность, которая поглощается, идёт на излучение.

Потери в структуру МПП-перехода вносятся в виде граничных условий Impedance Boundary (см. рис. 7). Как видно из статьи «Проектирование микрополосковой антенны с учётом тепловых потерь» [3], латунное покрытие имеет активное значение сопротивления на квадрат, равное 0,015 Ом/квadrat.

Найдём соотношение между мощностью излучения и поглощённой мощностью на частоте 20 ГГц при условии внесения потерь. Обобщая данные расчётов, выполненных с учётом тепловых потерь и потерь на излучение, было получено, что:

- в переходе с разъёмами из 30% общих потерь: 20% – на излучение, 10% – на тепло;
- в переходе без разъемов из 20% общих потерь: 10% – на излучение, 10% – на тепло.

Эти расчёты показывают, что потери на излучение в таких структурах значительные и могут превосходить тепловые потери.

### Анализ потерь переходов разной длины в диапазоне частот

Как было показано, учёт излучения перехода приводит к ухудшению его характеристик. В диапазоне частот мощность излучения растёт на более высоких частотах, достигая 30% (см. рис. 8), то есть становясь основной частью перед тепловыми потерями.

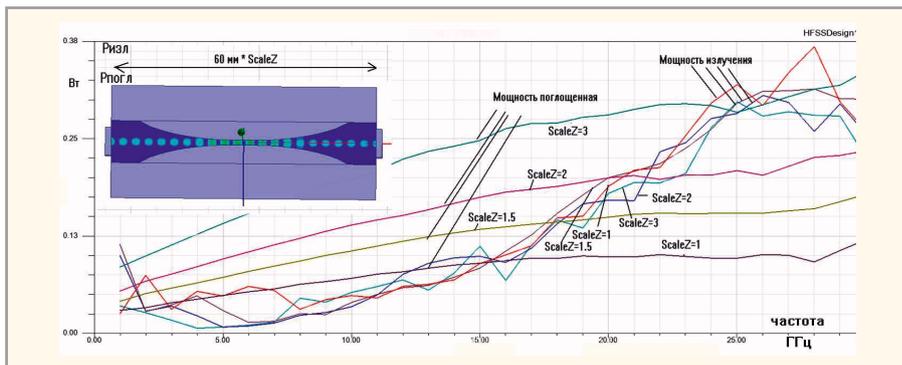
Если преобразовать частотные характеристики, приведённые на рисунке 8, в зависимости мощностей от длины перехода (меняя величину масштаба ScaleZ), то получаем семейство зависимостей мощностей на излучение ( $P_{изл}$ ), на тепловые потери ( $P_{пот}$ ), а так-

же суммарной мощности на излучение и тепловые потери ( $P_{\text{сум}}$ ) от длины перехода, показанных на рисунке 9.

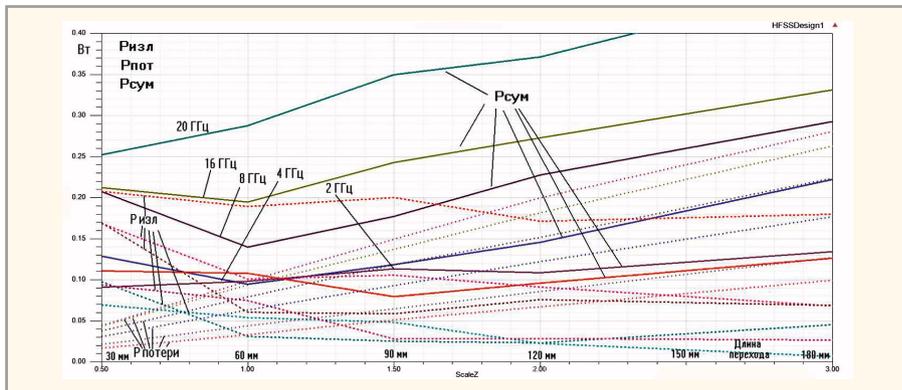
Из рисунка 9 видно, что имеется оптимальное значение для длины перехода, при которой суммарная мощность минимальная. Она получается примерно при длине 60 мм. При более длинных переходах суммарная мощность, связанная с поглощаемой мощностью, увеличивается за счёт излучения. Из полученных расчётных данных, из хода зависимостей мощности, показанных на рисунке 9, можно видеть, что для получения наименьшей мощности излучения нужно выбрать оптимальную длину перехода.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Ultra Wide Band Antennas. Edited by Xavier Begaud. John Wiley & Sons. 2010. N-York. P. 278.
2. www.ansys.com. Сайт компании ANSYS – разработчика программы HFSS.
3. Банков С.Е., Давыдов А.Г., Курушин А.А., Патилов К.Б. Проектирование микрополосковой антенны с учётом тепловых потерь. «Современная электроника». 2008. № 8. С. 48–54.



**Рис. 8. Частотная зависимость поглощаемой и излучаемой мощности при разных длинах перехода от 60 до 180 мм**



**Рис. 9. Мощности потерь  $P_{\text{пот}}$ , мощности излучения  $P_{\text{изл}}$  и суммарная мощность на потери и излучение в зависимости от длины перехода**

# PROCHIP

POWERED BY PROSOFT

Активный компонент вашего бизнеса

- + Различные решения по подбору элементной базы
- + Осуществление поставок комплектующих для серийного производства и новых разработок
- + Поддержка склада
- + Оказание технической и информационной поддержки



+7 (495) 232-2522  
 INFO@PROCHIP.RU  
 WWW.PROCHIP.RU



Реклама

