

УДК 621.385.6:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ КООКСИАЛЬНО-МИКРОПОЛОСКОВОГО ПЕРЕХОДА (КМПП) ОТНОСИТЕЛЬНО ЦЕНТРА МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

В.В. БОЖЕНКОВ, А.А. ДУШЕВИН, Е.А. КУДРИЦКАЯ

*Учреждение образования «Белорусская государственная академия связи»,
ул. Ф. Скорины, 8/2, Минск, 220114, Беларусь**Поступила в редакцию 13 ноября 2015*

Проведено моделирование точности установки коаксиально-микрополоскового перехода в изделиях СВЧ-техники в среде Advanced Design System. Показано, что при росте частоты, в связи с увеличением коэффициента стоячей волны, точность установки монтируемых компонентов оказывает существенное влияние на работоспособность устройства в целом. На частотах свыше 10 ГГц требуются специальные технологические мероприятия по позиционированию элементов СВЧ-тракта.

Ключевые слова: микроэлектроника, техника СВЧ, компьютерное моделирование, Advanced Design System, коэффициент стоячей волны, волновое сопротивление, линия микрополосковая, коаксиально-микрополосковый переход, качество точности, автоматизированная установка.

Введение

СВЧ-компоненты широко применяются в приемо-передающей аппаратуре телекоммуникационных линий, авиационной и космической аппаратуре. Как за рубежом, так и в нашей стране отмечается большой интерес к организации серийного производства СВЧ-электронных устройств: антенн, усилителей СВЧ-мощности, приемников и передатчиков СВЧ-сигнала. Наибольшее развитие техника СВЧ получила благодаря новейшим разработкам и достижениям в военной и космической промышленности. Создание мощнейших систем и комплексов противовоздушной обороны (ПВО), авиации и флота в таких странах, как Россия, США и другие, а также широких совместных программ по освоению и изучению космоса позволило создать целый ряд интереснейших и перспективных приборов, материалов и компонентов СВЧ и совершить ряд уникальных мировых открытий в этой области. Однако до сих пор имеются определенные трудности производства СВЧ-устройств, которые обусловлены двумя основными особенностями – это рабочие частоты в десятки гигагерц и большая рассеиваемая электрическая мощность. Электрический монтаж является одной из сложнейших технологических операций при изготовлении таких устройств. Сложность обуславливается высокой чувствительностью устройств к воздействию внешних факторов и производственным погрешностям сборки. Высокая стоимость и сложность данной группы изделий электронной техники затрудняет отработку технологии сборки на натуральных образцах. Поэтому в настоящее время широко применяется компьютерное моделирование.

Advanced Design System (ADS) предлагает мощную технологию моделирования и интеграцию процесса разработки с другими системами автоматизированного проектирования (САПР), включая Cadence, связь с приборами компании Agilent и Anritsu.

Методика моделирования

Точное позиционирование компонентов на печатной топологии является существенным фактором, влияющим на характеристики изделий. Рассмотрим влияние смещения оси жилы КМПП относительно центра МПЛ на частотах 3,6 и 10 ГГц. Эти частоты используются для работы устройств С- и Х-диапазона спутниковой связи.

Рассчитаем параметры МПЛ для частоты 3 ГГц. Для этого воспользуемся приложением ADS LineCalc, внешний вид которого приведен на рис. 1.

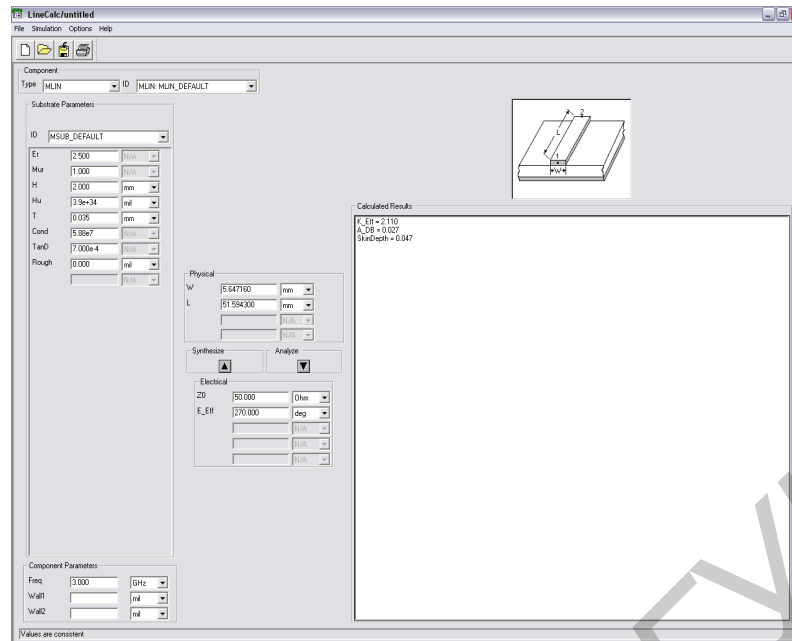


Рис. 1. Приложение Advanced design system LineCalc

Данное приложение специально спроектировано для проведения такого рода расчетов.

ϵ_r – диэлектрическая проницаемость, μ_r – магнитная проницаемость, T – толщина слоя металлизации, H – толщина печатной платы, H_u – расстояние до крышки корпуса, $Cond$ – диэлектрическая проницаемость, $TanD$ – тангенс угла диэлектрических потерь, $Rough$ – шероховатость поверхности, $freq$ – расчетная частота, w и l – ширина и длина МПЛ соответственно, Z_0 – импеданс линии, $E_{эфф}$ – эффективная электрическая длина.

Примем импеданс МПЛ равным 50 Ом, так как это наиболее распространенный тип, применяемый в разных областях радиоэлектроники [1].

В среде ADS есть возможность рассчитать параметры линии в зависимости от топологии МПЛ и расположения портов ввода и вывода.

Далее по расчетным данным построим МПЛ и укажем порты ввода и вывода (рис. 2). На данном рисунке показана топология МПЛ, расчетный импеданс которой равен 50 Ом при работе на частоте 3 ГГц.

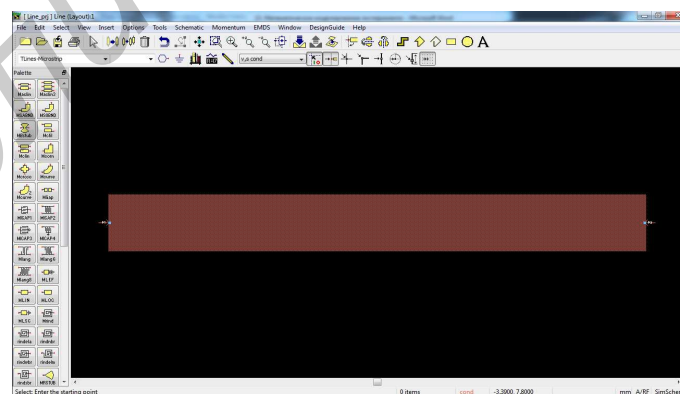


Рис. 2. Топология микрополосковой линии с импедансом 50 Ом на частоте 3 ГГц

После проектирования МПЛ и размещения на ней портов ввода и вывода, полученные данные передаются в редактор Schematic, где к обоим портам подключается нагрузка 50 Ом, что соответствует импедансу коаксиальных разъемов, используемых в микроэлектронике СВЧ. Внешний вид редактора Schematic показан на рис. 3.

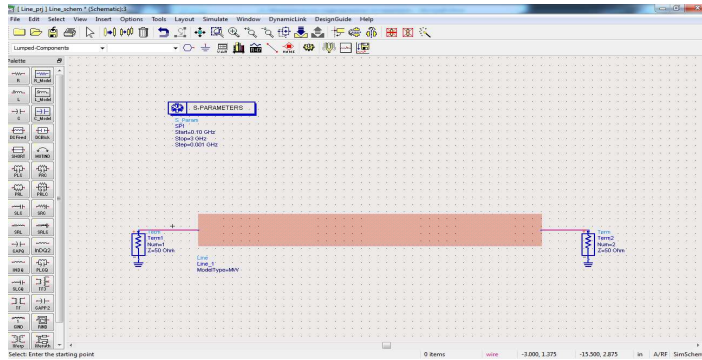


Рис. 3. Подключение в Schematic ADS к микрополосковой линии нагрузки

Результаты моделирования

Результаты моделирования отображаются после проведения системой расчетов (рис. 4). Слева на рисунке показан график зависимости коэффициента стоячей волны (КСВ) МПЛ от частоты. На частоте 3 ГГц для данной МПЛ при расположении входного порта по центру относительно МПЛ КСВ будет равен 1,06. На графике справа приведен импеданс линии: сверху – действительная составляющая, снизу – мнимая.

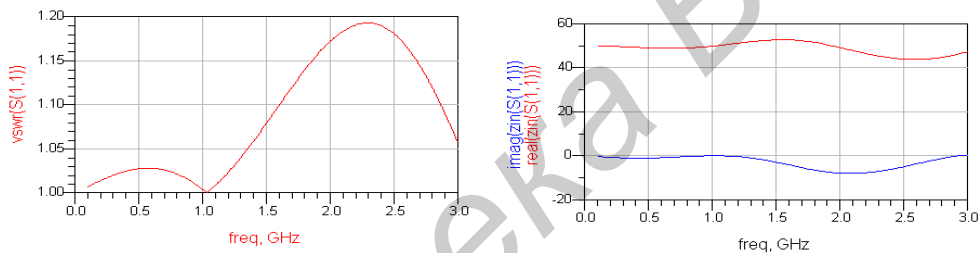


Рис. 4. Результаты моделирования 50-омной МПЛ на частоте 3 ГГц при расположении входного порта по центру относительно микрополосковой линии

Характер кривой получается волнообразным по следующей причине. В тех точках линии, где фазы падающей и отраженной волн совпадают, напряжение максимально и равно $U_{MAX} = U_{ло}(1 + r) = U_{ло}(1 + r)$, а в тех точках, где фазы противоположны – минимально: $U_{MIN} = U_{ло}(1 - r)$, где r – коэффициент отражения. По определению $КСВ = U_{MAX}/U_{MIN}$.

Смещение проводилось с шагом 0,5 мм. Результаты моделирования для МПЛ, спроектированных для работ на частотах 3,6 и 10 ГГц, приведены на рис. 5. Ось абсцисс указывает смещение компонента, ось ординат указывает КСВ линии.

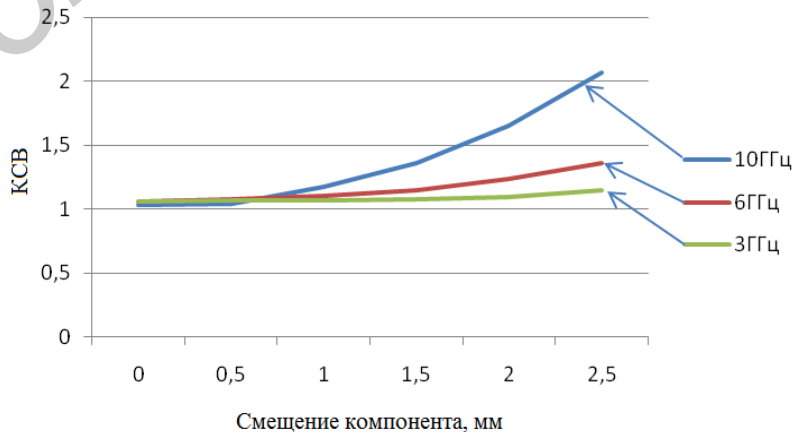


Рис. 5. Результаты моделирования 50-омной МПЛ на частотах 3,6 и 10 ГГц при смещении порта ввода относительно центра линии от 0 до 2,5 мм

Из проведенного моделирования следует, что при росте частоты точность установки монтируемых компонентов приобретает большое значение. Обычно эта проблема решается вытравливанием на печатной плате посадочных мест заданного размера на каждый вывод либо покрытием слоем маски неиспользуемых для монтажа площадей металлизации. Однако не всегда элементы располагаются на таких посадочных местах и не всегда покрытие маски применимо. Таким образом, на частотах свыше 10 ГГц стоит обратить внимание на позиционирование элементов, возможно, в некоторых случаях стоит прибегнуть к автоматизированной установке. Установка компонентов при работе линии до 10 ГГц может производиться по 12 качеству точности. Начиная с 10 ГГц и выше – по 10 качеству и выше до 01 при работе на гипервысоких частотах.

Порт ввода и вывода указывает на точку соединения электрорадиоэлемента (ЭРЭ) с МПЛ. Промоделируем ситуацию, если точка соединения будет находиться не у самого края линии, а ближе к противоположному краю. Сместим точку соединения на 1 мм, 2 мм и 3 мм для соединения ЭРЭ – МПЛ на частотах 3,6 и 10 ГГц.

Результаты моделирования 50-омной МПЛ при смещении точки контакта вглубь МПЛ на частоте 3,6 и 10 ГГц показаны на рис. 6. Входной порт в этой части моделирования расположен по центру относительно МПЛ. Ось абсцисс указывает смещение компонента, ось ординат указывает КСВ линии.

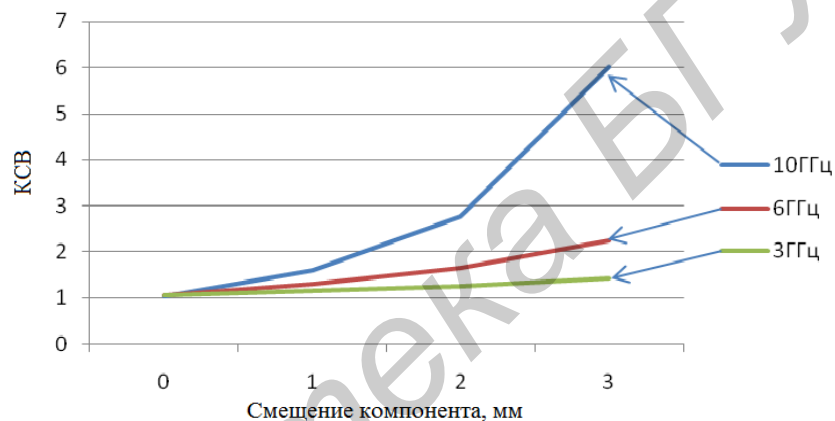


Рис. 6. Результаты моделирования 50-омной МПЛ на частотах 3,6 и 10 ГГц при подключении жилы КМПП к МПЛ на удалении от 0 до 3 мм от ее края

Таким образом, подключение жилы КМПП к МПЛ должно производиться у самого края МПЛ, и жила КМПП должна быть запаяна непосредственно в точке совмещения, а также равномерно по всей поверхности для обеспечения надежного контакта.

Моделирование показывает, насколько важна точная установка компонента в указанное место на плате. Особенно ярко это заметно с увеличением частоты. При проектировании топологии печатной платы следует уделять особое внимание проектированию посадочных мест для компонентов.

Для того чтобы избежать отражения волны на переходе SMA-соединитель – МПЛ, рекомендуется выполнить сужение МПЛ, как показано на рис. 7 [2].

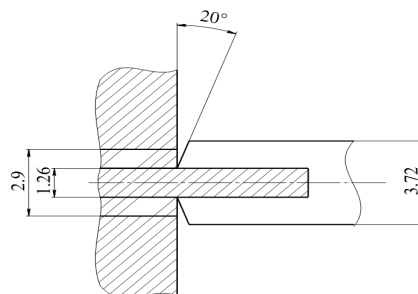


Рис. 7. Переход SMA-соединитель – МПЛ, где $\epsilon_r = 2,55$, толщина металлизации – 0,43 мкм, толщина припоега – 1,27 мм

Экспериментальная проверка результатов моделирования

В ходе выполнения исследования на основе рассчитанной топологии был изготовлен макет соединения КМПП с МПЛ (рис. 8) [3].



Рис. 8. Экспериментальный макет

Экспериментальные данные были получены с помощью векторного анализатора цепей Anritsu Network Analyzers 37347D.

Так как векторный анализатор цепей имеет связь со средой проектирования ADS 2008, показания, полученные в ходе эксперимента, более наглядно продемонстрированы с помощью графиков данной системы проектирования. Графики приведены на рис. 9.

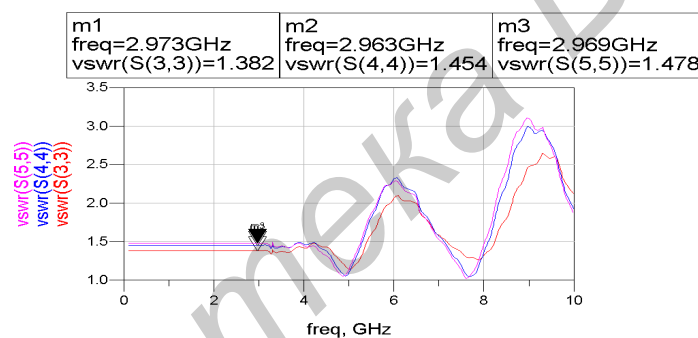


Рис. 9. Экспериментальные данные, полученные при смещении проводника и нанесении флюса на поверхность МПЛ

Нижняя характеристика m1 показывает КСВ соединителя на частоте 3 ГГц при расположении соединителей по центру МПЛ линии. Характеристика m2 показывает КСВ при смещении жилы КМПП входного порта на 2,5 мм относительно центра МПЛ. КСВ ухудшился на 0,072, что с определенной долей погрешности соответствует ранее смоделированной ситуации. Погрешность возникает из-за того, что КСВ соединителей равно 1,06, погрешности в изготовлении печатной платы и точность установки также вносят свои изменения. Остальные характеристики не приводятся из-за малой наглядности на графике.

Характеристика m3 получена при нанесении на поверхность МПЛ равномерного слоя флюса имитирующего загрязнение. Соединители при этом находились при смещении жилы КМПП входного порта на 2,5 мм относительно центра МПЛ. Таким образом, видно, что загрязнение практически не влияет на КСВ линии, однако с загрязнениями следует бороться из-за коррозии, которой подвергаются элементы цепи.

Если же соединитель располагается по центру МПЛ, однако не вплотную прилегает к основанию печатной платы, то это фактически вносит индуктивность в исследуемую цепь. Следующий этап эксперимента показывает изменение КСВ при перемене зазора между основанием корпуса соединителя и торца печатной платы.

Результаты измерений приведены на рис. 10. Характеристика m1 (нижняя) показывает плотное прилегание корпуса разъема к торцу печатной платы, и, следовательно, весь коаксиальный вывод лежит на МПЛ. Характеристика m2 (средняя) показывает изменение КСВ при зазоре в 1,5 мм, а m3 (верхняя) – при зазоре в 2,5 мм.

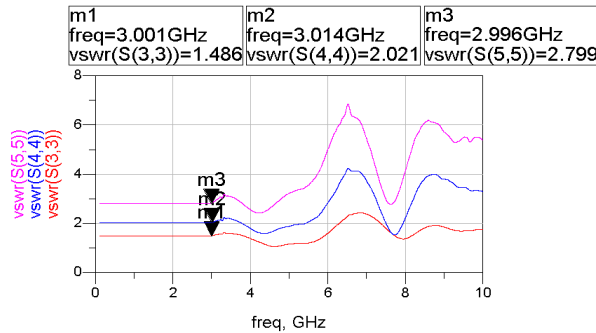


Рис. 10. Экспериментальные данные, полученные при смещении корпуса соединителя относительно торца печатной платы

Заключение

Установлена зависимость увеличения КСВ при смещении жилы КМПП относительно центра МПЛ, что указывает на ухудшение характеристик. Однако такое ухудшение незначительно для частот до 3 ГГц. Следовательно, сборка соединителей без оптического позиционирования не оказывает заметного влияния на характеристики изделия.

Следует избегать ситуации, когда жила КМПП располагается не полностью на МПЛ, так как это существенно влияет на изменение характеристик. И, как показывает моделирование, начало МПЛ должно совпадать с выходящей из диэлектрика частью КМПП.

Установлено, что устройства на частотах до 3 ГГц слабо чувствительны к смещению жилы КМПП относительно центра МПЛ. Однако на частотах свыше 10 ГГц прослеживается существенное изменение характеристик, что может привести к некорректной работе устройства. Таким образом, при монтаже КМПП для работы на частотах свыше 10 ГГц требуется применение специальных позиционеров.

Также при проведении эксперимента была выявлена зависимость при смещении СВЧ-соединителя относительно торца печатной платы. Случай, когда часть жилы КМПП не находится на поверхности МПЛ, приводит к появлению паразитной индуктивности. Отсюда следует, что при монтаже соединения необходимо совмещать жилу КМПП и торец МПЛ с погрешностью не более $\pm 0,1$ мм.

MODELING OFFSET COAXIAL–MICROSTRIP TRANSITION (KMP) RELATIVE TO THE CENTER OF MICROSTRIP LINE

V.V. BAZHANKOV, A.A. DUSHEVIN, A.A. KUDRYTSKAYA

Abstract

The simulation accuracy install coaxial microstrip transition in microwave technology products among Advanced Design System. It is shown that with an increase in frequency due to an increase in the standing wave ratio, the accuracy of the installation mounted components has a significant effect on the performance of the device as a whole. At frequencies above 10 GHz requires special measures to technological positioning of the microwave path.

Список литературы

1. Нефедов, Е. И. Полосковые линии передачи. / Е. И. Нефедов, А. Т. Фиалковский. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Наука, 1980. – 312 с.
2. George L. Matthaei, Leo Young, E. M. T. Jones – Artech House Books, Hardback, 1980. – 1096 p.
3. Amphenol connectors [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.amphenol-connex.com>.