

А. М. ЛЕЙБМАН

Дата поступления в редакцию
09.03 1998 г.
Оппонент к. т. н. И. Н. БАЛАБАН

Россия, г. Москва, Московский гос. авиационный ин-т

ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОДУЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ УСТРОЙСТВ СВЧ И КВЧ

Предложен новый подход к автоматическому проектированию устройств СВЧ и КВЧ с учетом влияния переходов между отдельными модулями.

The new approach to CAD of SHF and EHF devices with due regard for influence of connections between discrete modules has been proposed.

Бурное развитие в последние десятилетия техники, использующей диапазоны СВЧ и КВЧ (миллиметровые волны), привело к необходимости пересмотра методов расчета и проектирования таких устройств.

Существует два общих подхода к моделированию устройств СВЧ: принцип целостного моделирования и принцип декомпозиции.

В первом случае для проектирования используется модель, связывающая входные, выходные и конструктивно-технологические характеристики устройства в целом. Такой подход позволяет моделировать только достаточно простые устройства. Это вызвано тем, что при возрастании сложности устройства модель усложняется настолько, что ее обработка с использованием современных математических методов и вычислительной техники становится крайне затруднительной.

При использовании принципа декомпозиции схема разбивается на простые элементы, для которых существуют либо математические модели, либо экспериментальные данные. Далее создаются модели отдельных элементов, которые стыкуются в соответствии со схемой, образуя, таким образом, модель устройства в целом. На этом принципе построены практически все современные автоматизированные системы расчета и моделирования устройств СВЧ. Одним из наиболее удобных и популярных среди них является пакет программ фирмы EEs of Touchstone и Academy, описанный в [1].

На сегодняшний день в развитии элементной базы схем СВЧ и КВЧ заметна тенденция к ее усложнению, созданию крупных функциональных блоков-модулей вместо простых активных и пассивных элементов.

Примером может служить развитие элементной базы для систем связи в диапазоне КВЧ, который становится одним из наиболее важных на сегодняшний день. Так, целый ряд фирм производит сейчас блоки генераторов, модуляторов, усилителей, преобразователей. Компания Alpha Industries, являющаяся одним из лидеров в этой области, предлагает широкий диапазон усилителей (мощности, маломощных, промежуточных), смесителей и преобразователей, работающих в этом диапазоне. Эти элементы выполняются как в корпусированном, так и в бескорпусном исполнении (с микрополосковыми соединениями). Аналогичный набор блоков предлагает и другой известный производитель компонентов СВЧ-техники — компания M/A COM. Компания Fagran Technologies предлагает модулируемые генераторы, преобразователи, фильтры с коаксиальными и волноводными выводами.

Один из крупнейших производителей электронных компонентов в мире компания Hewlett Packard пошла еще дальше, создав серию приемных и передающих блоков для частот 23 ГГц DRT1-23xx и DRR1-23xx (коаксиальные и волноводные соединения) и 38 ГГц DRT1-38xx и DRR1-38xx (волноводные соединения). Они представляют собой законченные узлы, включающие генераторы, модуляторы-демодуляторы, усилители и преобразователи, и предназначены для передачи и приема сигналов в составе систем обмена данными «точка — точка».

Ряд других компаний также либо уже предлагают подобную продукцию, либо анонсировали ее выпуск в ближайшем будущем. Аналогичные разработки проводятся и в России, в частности на московском НИИ «Пульсар».

Появление подобной элементной базы открывает простор для разработки новых методов проектирования — создания модульных конструкций. На сегодняшний день создание устройств, работающих в диапазоне КВЧ, затруднено в связи с наличием ряда технологических ограничений. Так, в частности, выходная мощность передающих блоков ограничена в среднем 100 мВт (до 300 мВт в современных усилителях компаний Alpha Industries и M/A COM). Модульный подход при построении устройства позволяет обойти это ограничение.

Помимо активных компонентов к элементной базе нового типа можно отнести и вошедшие в последнее время в употребление модули микрополосковых антенных решеток. Такой модуль может служить элементом для построения плоских антенных полотнищ большой площади, создание которых на одной подложке затруднено

по причине технологических сложностей, связанных с поддержанием необходимой точности напыления элементов по краям подложки большого размера. Однако используя небольшие модули (48×60 мм) можно создавать антенные полотна практически любого размера.

Появление такой элементной базы потребовало пересмотра методов проектирования аппаратуры, использующей ее. В частности, при использовании принципа декомпозиции имеет смысл переход от мелких элементов разбиения к блокам, полностью заключающим в себе функциональный узел. Применительно к программе Touchstone можно использовать элементы типа «черный ящик», задавая их параметры файлами описания, поставляемыми фирмами-производителями таких узлов. Таким образом, модель устройства сильно упрощается, ускоряя процесс расчета и моделирования. При этом возрастает и точность моделирования благодаря использованию экспериментальных данных.

При моделировании устройств СВЧ и КВЧ на первый план выходит проблема учета параметров переходных элементов между отдельными модулями. Это могут быть переходы как между однотипными, так и между разнотипными линиями передачи (например, «микрополосковая линия — прямоугольный волновод»). Разработан и опробован ряд переходов для любых комбинаций линий передачи. Однако при небольшой длине волны в системах СВЧ и, особенно, КВЧ большое влияние на электрические параметры устройства оказывают конструктивные и технологические погрешности. К сожалению, данная проблема недостаточно учтена в программе Touchstone, что приводит к необходимости дополнения ее библиотеки элементами, учитывающими влияние переходов.

Разработан ряд моделей переходов между различными линиями передачи для более точного описания современных модульных конструкций СВЧ и КВЧ при моделировании в программе Touchstone. На базе этих моделей создан набор программ-препроцессоров, способных рассчитать по данным пользователя параметры необходимого перехода. На выходе такого препроцессора имеется стандартный файл описания элемента, используемый в виде «черного ящика» в программе Touchstone. Таким образом, пользователь имеет возможность использовать их при расчете и оптимизации схемы.

При построении модульных конструкций СВЧ и КВЧ самыми распространенными линиями передачи являются микрополосковые линии, прямоугольные волноводы, коаксиальные кабели. (Могут также использоваться симметричная полосковая линия, щелевые и копланарные линии.) Соответственно, чаще всего могут встретиться следующие типы переходов:

микрополосковая линия — микрополосковая линия;
 прямоугольный волновод — микрополосковая линия;
 коаксиальный кабель — микрополосковая линия.

В свою очередь, каждый из типов переходов имеет различные варианты конструкций. При расчете параметров перехода при помощи препроцессо-

ра учитываются возможные конструктивные и технологические погрешности.

Рассмотрим основные типы конструкций переходов, параметры которых могут быть рассчитаны при помощи набора препроцессоров к программе Touchstone.

Наиболее распространенным видом соединения двух микрополосковых линий является вариант с их расположением на одной стороне подложки, когда одна линия является продолжением другой. В качестве соединительного элемента используется ленточный проводник. Этот переход весьма чувствителен к расхождениям стыковки подложек во всех плоскостях и к погрешностям изготовления микрополосковых линий, что учтено при разработке модели.

Используется также конструкция, в которой соединяемые микрополосковые линии находятся на противоположных сторонах подложек, соединенных между собой экранными проводниками. Соединительным элементом является перпендикулярная полуволновая щель в экране. При расчете учитываются погрешности стыковки и изготовления элементов, в том числе щели.

Известно несколько вариантов конструкций перехода «прямоугольный волновод — микрополосковая линия» по взаимному расположению волновода и подложки микрополосковой линии:

- переход на торец волновода, подложка микрополосковой линии расположена перпендикулярно к волноводу; расположена параллельно (в продолжение) к волноводу;
- переход на стенку волновода, подложка микрополосковой линии расположена перпендикулярно к волноводу; расположена на стенке волновода.

При расчете таких переходов необходимо учитывать не только погрешности изготовления линий передачи и их стыковки, но и погрешности дополнительных элементов, использующихся для соединения и согласования.

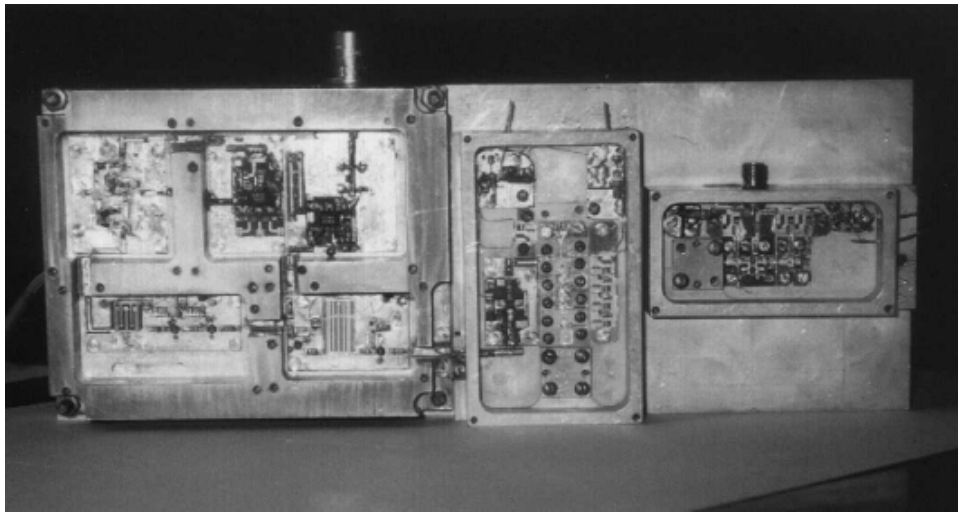
Используемые на практике конструкции переходов «микрополосковая линия — коаксиальный кабель» можно разделить на две группы:

- переходы с использованием дополнительных согласующих конструкций (по причине сложности не рассматривались);
- переходы без дополнительных элементов.

Конструкции переходов второй группы в свою очередь можно разделить на два типа:

- переходы с прохождением кабеля сквозь подложку микрополосковой линии;
- переходы, в которых кабель подходит с торца подложки микрополосковой линии.

При создании макетных и опытных конструкций наиболее часто используется переход первого типа в силу простоты изготовления. Он удобен для введения питания к микрополосковым антеннам, удаленным от активной части приемопередатчика. При этом коаксиальный кабель подходит со стороны экранного проводника, и его центральная жила через



Общий вид блока КВЧ со снятыми крышками модулей (в центре — модуль приемного тракта)

отверстие в подложке проходит на ее лицевую сторону.

Для снижения потерь в переходе и расширения полосы пропускания могут применяться различные дополнительные элементы, например металлизация отверстия, введение дополнительной переходной втулки и т. п.

Описанные типы переходов являются наиболее часто используемыми при разработке техники СВЧ и КВЧ. При необходимости набор прецедентов может быть дополнен их новыми типами.

Набор прецедентов к программе Touchstone, учитывающих влияние переходов, использовался при расчете параметров и моделировании передаточного блока диапазона КВЧ (см. рисунок), предназначенного для работы в составе системы передачи данных. Блок состоит из приемного и передающего трактов, блока обработки сигнала и двух микрополосковых антенных решеток, работающих на передачу и прием. Тракты выполнены по модульному принципу в микрополосковом исполнении. В частности, тракт приемника состоит из трех каскадов малошумящего усилителя, смесителя, генератора и предварительного усилителя промежуточной частоты. В качестве соединительных элементов между модулями используются переходы «микрополосковая линия — микрополосковая линия» в одной плоскости.

В результате расчета были получены следующие параметры тракта:

- суммарный коэффициент усиления — 58 дБ;
- коэффициент шума — 7 дБ;
- $K_{СВ} < 1,5$.

Проведенные испытания показали, что эти данные с высокой точностью соответствуют экспериментальным.

Также были рассчитаны переходы типа «микрополосковая линия — прямоугольный волновод», которые используются для связи приемного и передающего трактов с микрополосковыми антенными решетками, расположенными на обратной стороне пластины основания блока. В этом случае результаты расчетов также хорошо согласовались с экспериментальными данными.

Описанные методы расчета и моделирования систем СВЧ и КВЧ повышают точность автоматизированного проектирования при использовании крупных функциональных модулей. При этом имеется возможность вносить в пакет программ изменения в соответствии с современной быстроразвивающейся технологией.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Лейбман А. М. Использование пакета программ Touchstone и Academy фирмы EEsof при проектировании элементов и устройств СВЧ и КВЧ // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1998. — № 2. — С. 14–17.
2. Raffaelli L. ARCOM Inc. MMW digital radio front ends: market, applications and technology // Microwave Journal. — 1997. — N 10. — С. 56–61.
3. Ерохин Г. А., Чернышов О. В., Козырев Н. Д., Кочержевский В. Г. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. — М.: Радио и связь, 1996.
4. Автоматизированное проектирование устройств СВЧ / Под ред. В. В. Никольского. — М.: Радио и связь, 1982.
5. Калина В. Г., Гвоздев В. И. Шлейфные переходы между миниатюрными линиями передачи с пленочными проводниками // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1979. — Вып. 6. — С. 37–42.
6. Гвоздев В. И., Нефедов Е. И. Объемные интегральные схемы СВЧ. — М.: Наука, 1985.