

поперечном сечении. Такой анализ, включающий решение задачи Дирихле для уравнения Лапласа, возможен методом конформных отображений, являющимся наиболее предпочтительным в силу его высокой скорости расчетов при компьютерной реализации.

Известно, что анализируемые многоугольные области можно конформно отображать с помощью интеграла Кристоффеля–Шварца, но его применение к анализу современных волноведущих СВЧ структур вследствие многосвязности области поперечного сечения и неоднородности диэлектрического заполнения напрямую невозможно и представляет собой ещё недостаточно изученную открытую проблему. Прямой анализ двумерного квазистатического поля в многосвязной области поперечного сечения волноведущих структур с помощью отображения Кристоффеля–Шварца невозможен именно из-за многосвязности области, которая в данной работе впервые обобщенно преодолевается с помощью редуцирующих разрезов.

Все вышеописанное указывает на то, что тема диссертационной работы Стручкова С. М. является актуальной и востребованной.

Общее содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Общий объем работы составляет 148 страниц, в том числе, 91 рисунок и 6 таблиц. Список используемых источников содержит 89 наименований.

Во введении дается общее описание работы, обосновывается актуальность, формулируются цель и задачи исследования, теоретическая и практическая ценности работы, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор проводных волноведущих структур, таких как микрополосковые линии и другие виды проводящих линий, а также их классификация по различным признакам. Кроме этого рассмотрены основные методы моделирования и их особенности описанных выше

компонентов. Также представлен обзор имеющего инструментария для предлагаемой методики.

Во второй главе описана методика, которая позволяет сложные многосвязные структуры преобразовывать в односвязные при помощи конформных отображений с использованием интеграла Кристоффеля–Шварца путем внедрения редуцирующих разрезов параллельных силовым линиям. Также описана методика учета неоднородности диэлектрика, которая решается при помощи метода частичных емкостей или метода эффективных диэлектрических проницаемостей.

В третьей главе представлена методика моделирования связанных круглых проводников, расположенных как симметрично, так и со смещением в круглом экране. Такого рода универсальность методики (с учетом смещения) позволила проанализировать новое запатентованное автором устройство – импульсный расщепитель, описание и принцип действия которого представлен в данной главе. Кроме этого рассмотрено ещё одно впервые запатентованное в России СВЧ-устройство – транснаправленный ответвитель (ТРО) на связанных линиях с вертикальной вставкой. Они были разработаны благодаря описанной выше методике, которая позволяет адаптироваться к моделированию различных устройств на базе связанных линий, как с круглым, так и прямоугольным профилем проводников. Также представлен ряд новых соотношений для перехода между базовыми параметрами одинаковых связанных линий с неуравновешенной электромагнитной связью.

В четвертой главе представлено сопоставление результатов моделирования тестовой микрополосковой структуры с экспериментальными измерениями, выполненными различными методами – непосредственным измерением погонных параметров и измерением S -параметров в частотной области. Также представлен пример моделирования и разработки прототипа новой модели ТРО в каскадном исполнении для работы в X -диапазоне.

В заключении в логическом порядке приводятся выводы о проделанной работе и краткое описание достигнутых результатов.

В приложениях кратко представлен инструментарий для предлагаемой методики в виде программных реализаций, также представлена программа для фрезерования экспериментального макета. Кроме этого представлены копии патентов, свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и актов внедрения.

Научная новизна

1) Впервые предложен алгоритм численного моделирования микрополосковых и других проводящих структур с помощью конформных отображений путем введения редуцирующих разрезов для преобразования многосвязной области в односвязную.

2) Отличительной особенностью представленного выше алгоритма является учёт неоднородности диэлектрического заполнения многосвязных волноведущих структур.

3) На основе данной методики предложена программная реализация для вычисления сложных волноведущих структур на базе пакетов SCPACK и SC ToolBox.

4) С использованием полученных программных пакетов разработаны и описаны пассивные распределенные устройства на связанных линиях: импульсный расщепитель и трансправленный ответвитель.

Теоретическая значимость

1) Разработанная новая методика модифицированных конформных отображений, опираясь на использование редуцирующих разрезов и интеграл Кристоффеля–Шварца, позволяет преобразовывать многосвязные области в односвязные и моделировать волноведущие структуры со сложным поперечным сечением.

2) Предложенное обобщение методики частичных емкостей позволяет учитывать неоднородность диэлектрического заполнения в многопроводных микрополосковых структурах при их моделировании.

3) Использование новой методики позволяет проектировщику физически интерпретировать задачу, процесс и результаты моделирования микрополосковых, проводных и других волноведущих структур.

Практическая значимость

1) Развитие предложенного альтернативного подхода расчета волноведущих структур со сложным поперечным сечением позволяет уменьшить зависимость вычислительного процесса моделирования от мощности компьютерных систем.

2) Интеграция различных вычислительных приложений на базе предложенной методики расширяет инструментарий разработчиков СВЧ устройств, что в свою очередь способствует созданию новых устройств на пассивных компонентах.

3) Предложенная методика разработки СВЧ устройств на связанных линиях позволяет решить задачу моделирования сложных СВЧ модулей, и формировать новые подходы к их проектированию.

Достоверность результатов работы

Достоверность полученных результатов и положений диссертационной работы обеспечиваются соответствующим сопоставлением полученных результатов с имеющимися современными теоретическими и экспериментальными данными, полученными другими исследователями, измерениями на сертифицированном оборудовании, получением патентов на технические решения – изобретения и полезную модель и актов внедрения зарегистрированной программы для ЭВМ.

Публикации и апробация результатов

По результатам работы было опубликовано 22 статьи, из них: 3 статьи, опубликованные в журналах «Доклады ТУСУР» (включенные в перечень ВАК), 7 публикаций, индексируемых в базе SCOPUS (индекс Хирша 1), 1 публикация, индексируемая в базе Web of Science, получены 2 патента на изобретение и 1 патент на полезную модель. Также получены 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Рекомендации по использованию работы

Предложенная методика может использоваться как альтернативный подход к моделированию пассивных устройств на базе полосковых структур, а также на первичном этапе их разработки. Целесообразно использование в учебном процессе для расширения кругозора студентов и понимания физических процессов при моделировании устройств. Кроме этого актуально использование методики при разработке новых устройств для получения начальных характеристик анализируемой структуры, что способствует не только ускорению, но и сокращению стоимости процесса разработки.

Замечания

1) В изначальном описании методики было указано такое преимущество как скорость работы алгоритма по сравнению с существующими подходами к анализу полосковых и других проводящих структур, однако нигде не приведено прямого численного сопоставления.

2) Отсутствует сравнительный анализ выполненного исследования по предложенной методике сложных структур с большим количеством связанных проводников с известными методами моделирования полосковых структур.

Однако, указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы Стручкова С.М.

Общее заключение по работе

Рассмотренная диссертационная работа «Методика конформных отображений для моделирования полосковых линий передачи и проектирование устройств на их основе» отвечает требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобразования и науки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Стручков Сергей Михайлович, заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Диссертационная работа и отзыв были рассмотрены на научном семинаре факультета радиотехники и электроники. Протокол № 3 от «25» 11 2016 г.

Председатель семинара
декан факультета РЭФ,
д.т.н. профессор



В.А. Хрусталеv

Секретарь семинара
д.т.н., профессор кафедры
Радиоприемных и радиопередающих
устройств



А.П. Горбачев

630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20
+7(383) 346-04-57
vostretsov@adm.nstu.ru