

ОТЗЫВ

ведущей организации АО «Институт микроволновых интегральных систем»
на диссертационную работу Горяинова Александра Евгеньевича
«Автоматизированное построение моделей пассивных компонентов и их
применение при структурно-параметрическом синтезе малошумящих СВЧ
транзисторных усилителей», на соискание ученой степени кандидата техни-
ческих наук по специальности 05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их тех-
нологии

Актуальность темы. В настоящее время наблюдается широкое рас-
пространение устройств СВЧ диапазона: радиолокационные системы, радио-
астрономия, системы спутниковой, мобильной и дальней космической связи,
а также системы передачи данных. Для обеспечения постоянно растущих
требований к микроэлектронным устройствам СВЧ активно разрабатываются
новые технологии их изготовления. В частности, все успешнее используются
технологии изготовления монолитных интегральных схем (МИС). Для ус-
пешного проектирования МИС требуются модели активных и пассивных
компонентов, отражающих особенности той или иной технологии их изго-
товления.

Построению моделей пассивных компонентов посвящено множество
работ, однако данная задача остается трудоемкой, где многие этапы решают-
ся эвристически. Разработка методов автоматизированного построения моде-
лей пассивных компонентов является актуальной задачей, решение которой
позволило значительно повысить эффективность проектирования и изготов-
ления СВЧ устройств.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, трех раз-
делов, заключения, списка литературы, списка сокращений и одного прило-
жения.

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируется ее
цель, задачи, научная новизна и положения, выносимые на защиту.

В первом разделе представлен обзор существующих подходов и мето-
дик к построению моделей пассивных сосредоточенных СВЧ компонентов.
Делается вывод, что модели в виде эквивалентных схем обладают рядом пре-
имущества применительно к задаче автоматизированного проектирования
СВЧ устройств. Приведены эквивалентные схемы для различных типов ком-
понентов (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности) и различных
технологий изготовления. Отдельно представлен структурно-
параметрический синтез СВЧ МШУ на основе генетических алгоритмов и
применения морфологического подхода. В заключении приведен перечень
задач исследования.

Во втором разделе предложены методики автоматизированного струк-
турно-параметрического синтеза моделей пассивных сосредоточенных ком-

понентов. На основе проведенного в первом разделе обзора выполнен морфологический анализ эквивалентных схем (ЭС-моделей), представленный в виде описания допустимых структурных схем и звеньев. Работа методик продемонстрирована на примере построения моделей резистора, конденсатора и катушки индуктивности для различных технологий изготовления. Полученные модели обеспечивают хорошую повторяемость электрических характеристик компонентов.

В третьем разделе содержится описание разработанного на основе предложенных методик программного обеспечения, библиотеки моделей компонентов для отечественной 0,15 мкм GaN HEMT технологии изготовления МИС. Представлена модификация программы автоматизированного проектирования линейных и малошумящих СВЧ транзисторных усилителей Geneamp для обеспечения синтеза ТУ с использованием параметрических ЭС-моделей пассивных СВЧ компонентов. С использованием модифицированной программы Geneamp выполнен структурно-параметрический синтез с применением моделей реальных компонентов следующих МШУ:

- двухкаскадного МШУ диапазона 1-5 ГГц на основе 0,25 мкм SiGe BiCMOS технологии;
- однокаскадного МШУ диапазона 1-3 ГГц с наклонной АЧХ, выполняемого на дискретных элементах по технологии печатного монтажа;
- однокаскадного сверхширокополосного МШУ диапазона 3-20 ГГц на основе 0,15 мкм GaAs pHEMT технологии.

Представлены результаты экспериментального исследования однокаскадных МШУ.

В заключении перечислены основные результаты исследований.

В приложении приведены акты об использовании разработанных программ, а также результатов диссертационной работы в учебном процессе и свидетельства о государственной регистрации ПО и топологии интегральной микросхемы.

Степень обоснованности и достоверность научных положений и результатов работы. Достоверность полученных результатов и положений диссертационной работы обеспечиваются качественным сопоставлением полученных результатов с имеющимися современными теоретическими и экспериментальными данными, выполнением моделирования на ЭВМ, изготовлением опытных образцов и экспериментального исследования разработанных устройств.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена новая методика, позволяющая осуществить синтез (определение структуры и параметров элементов) моделей пассивных сосредоточенных интегральных и дискретных СВЧ компонентов в виде эквивалентных схем, а также, в отличие от существующих методик, сохранить физическую

обоснованность структуры модели и обеспечить необходимый компромисс между ее сложностью и точностью.

2. Предложена новая методика автоматизированного синтеза параметрических моделей пассивных сосредоточенных СВЧ компонентов в виде эквивалентных схем, которая позволяет определить структуру моделей и рассчитать многомерные полиномы, отражающие зависимости параметров элементов ЭС от конструктивных параметров компонента (например, геометрических размеров).

3. Впервые осуществлен структурно-параметрический синтез СВЧ малошумящих транзисторных усилителей на основе генетического алгоритма с использованием параметрических моделей реальных пассивных СВЧ компонентов.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

1. Предложенные методики, а также разработанные на их основе алгоритмы и программное обеспечение позволяют упростить и автоматизировать построение ЭС-моделей пассивных СВЧ компонентов, в том числе параметрических.

2. С использованием разработанных методик и ПО построены ЭС-модели пассивных компонентов СВЧ МИС, изготовленных по отечественным *GaAs pHEMT*, *GaN HEMT* и зарубежной *SiGe BiCMOS* технологиям.

3. Разработана модификация программы автоматизированного проектирования линейных и малошумящих СВЧ транзисторных усилителей *Geneamp*, с использованием моделей реальных пассивных компонентов. Это дает возможность значительно ускорить и упростить проектирование данного класса устройств.

4. С использованием разработанных методик, алгоритмов и ПО разработаны экспериментальные образцы МШУ.

Результаты диссертационной работы использованы в рамках НИОКР, выполняемых с ООО «ЛЭМЗ-Т» (г. Томск) и НИИ полупроводниковых приборов (г. Томск), а также в учебном процессе на кафедре КСУП ТУСУРа.

Основные результаты работы опубликованы в 34 научных работах, среди которых 6 статьи в научных журналах, включенных в перечень ВАК, остальные статьи в сборниках трудов международных и всероссийских конференций. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

1. Согласно представленным в диссертации примерам, в программе автоматизированного построения моделей пассивных СВЧ компонентов *Extraction-P* ограничения на структуры синтезируемой эквивалентной схемы задаются согласно проведенному морфологическому анализу. При этом пользователь программы не может задать собственные ограничения на синтезируемую структуру, что с практической точки зрения не всегда удобно.

2. В диссертации не указано, выполняется ли параметрическая оптимизация значений элементов в результате построения моделей с помощью программы Extraction-P, и, если выполняется, то какие параметры оптимизации и целевой функции при этом используются. Для разработчика модели остается неизвестным, необходима ли дополнительная оптимизация полученных моделей.

Заключение. Рассмотренная диссертационная работа «Автоматизированное построение моделей пассивных компонентов и их применение при структурно-параметрическом синтезе малошумящих СВЧ транзисторных усилителей» отвечает требованиям Положения ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Горяинов Александр Евгеньевич, заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».

Диссертация была рассмотрена на заседании отдела радиоприемных устройств.

Протокол № 3

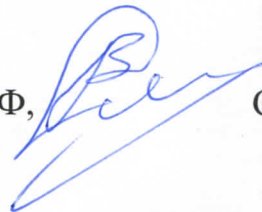
«5» декабря 2016 г.

Главный конструктор, проф., к.т.н.



Кирпиченков А.И.

Главный научный сотрудник,
лауреат Государственной премии РФ,
проф., д.т.н.



Слепцов В.В.

Заместитель генерального директора,
проф., д.т.н.



Шадский В.А.

Подписи Кирпиченкова А.И., Слепцова В.В. и Шадского В.А. заверяю

Генеральный директор



Кан. С.М.