



«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
и инновациям ТУСУРа
д.т.н., профессор

Р.В. Мещеряков

« 23 » сентября 2016 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР).

Диссертация «Автоматизированное построение моделей пассивных компонентов и их применение при структурно-параметрическом синтезе малошумящих СВЧ транзисторных усилителей» выполнена в ТУСУРе на кафедре компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП).

В период подготовки диссертации соискатель Горяинов Александр Евгеньевич работал в ТУСУРе в должности младшего научного сотрудника Лаборатории интеллектуальных компьютерных систем кафедры КСУП, обучаясь в очной аспирантуре ТУСУРа.

В 2012 г. окончил ТУСУР по специальности «Управление и информатика в технических системах».

Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов выдано в 2016 г. ТУСУРОм.

Научный руководитель – доктор технических наук, Бабак Леонид Иванович работает профессором в ТУСУРе на кафедре КСУП.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Горяинова Александра Евгеньевича является научно-квалифицированной работой, в которой содержится решение важных и актуальных задач: разработка методик, алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированного построения моделей, в том числе параметрических, пассивных СВЧ компонентов; применение параметрических моделей при структурно-параметрическом синтезе малошумящих СВЧ транзисторных усилителей.

Актуальность

Проектирование СВЧ ППУ невозможно без использования специализированных систем автоматизированного проектирования (САПР) СВЧ-устройств. САПР упрощают моделирование характеристик проектируемых устройств и позволяют автоматизировать ряд этапов проектирования, таких, как построение топологии, оптимизация параметров устройств и др.

Важным элементом САПР являются библиотеки компонентов (как дискретных, так и в монолитном исполнении), позволяющих осуществить моделирование и разработку топологии СВЧ ППУ для конкретной технологии изготовления – печатного монтажа, ГИС или МИС. Библиотека содержит электрические и геометрические модели компонентов, а также сведения о технологии изготовления, необходимые для проектировщиков. Построение библиотек компонентов является сложной и трудоёмкой научно-практической задачей, требующей высокоточного измерительного оборудования, специализированного программного обеспечения для построения моделей, а также знаний и опыта разработчика.

Широкое распространение в САПР получили математические модели в виде эквивалентных схем (ЭС), структура которых отражает особенности конструкции пассивных СВЧ компонентов и протекающих физических процессов. Построение ЭС-моделей пассивных СВЧ компонентов включает три этапа - определение структуры ЭС, нахождение значений (экстракция) её элементов и верификация. Решению задаче экстракции элементов ЭС посвящено большое количество работ. Однако в настоящий момент нет эффективного формального способа определения структуры ЭС пассивного СВЧ компонента, с одной стороны, отражающей физический смысл процессов, и, с другой стороны, обладающей необходимой точностью и достаточной простотой для обеспечения быстродействия модели.

Таким образом, задача создания новых методик и автоматизации построения моделей дискретных и интегральных пассивных СВЧ компонентов в виде эквивалентных схем **является весьма актуальной.**

Большой интерес представляет также использование ЭС-моделей СВЧ компонентов в интеллектуальных подсистемах САПР СВЧ устройств. В настоящее время существующие методы, алгоритмы и программное обеспечение (ПО), как правило, разрешают синтезировать отдельные типы ППУ (в частности, линейные ТУ) только на основе идеализированных моделей пассивных компонентов (т.е. моделей идеальных RCL -элементов и линий передачи). В СВЧ диапазоне получаемые схемы проектируемых устройств не учитывают потери и паразитные параметры пассивных компонентов. Как следствие, характеристики реальных СВЧ устройств могут сильно отличаться от результатов моделирования с идеализированными элементами. Всё это приводит к необходимости оптимизации и даже перепроектирования устройства, что увеличивает время и затраты на разработку. Осуществление автоматического или автоматизированного синтеза СВЧ устройств непосредственно на основе точных моделей пассивных СВЧ компонентов позволяет значительно упростить и ускорить проектирование СВЧ ППУ, так как дает возможность устранить этап перехода от идеализированных моделей к моделям реальных компонентов.

Личное участие автора в получении результатов.

Все представленные в диссертации результаты исследований получены лично автором либо при его непосредственном участии. В работах, опубликованных в соавторстве, автором получены существенные теоретические и практические результаты. Постановка задач научным руководителем Бабаком Л.И.

Степень достоверности результатов работы.

Достоверность полученных результатов и положений диссертационной работы обеспечиваются качественным сопоставлением полученных результатов с имеющимися современными теоретическими и экспериментальными данными.

Научная новизна диссертации.

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 добиться необходимого компромисса между её сложностью и точностью.

2. Предложена новая методика автоматизированного синтеза параметрических моделей сосредоточенных интегральных и дискретных пассивных СВЧ компонентов в виде эквивалентных схем, которая позволяет определить структуру моделей и автоматически 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 заключается в следующем:

1. Разработанные методики позволяют упростить и автоматизировать построение ЭС-моделей пассивных СВЧ компонентов, в том числе параметрических.

2. На основе предложенных методик разработана программа автоматизированного построения ЭС-моделей пассивных сосредоточенных СВЧ компонентов *Extraction-P*, позволяющая значительно ускорить и облегчить процесс разработки моделей и библиотек компонентов.

3. С использованием разработанных методик и ПО построены ЭС-модели пассивных компонентов СВЧ МИС, изготовленных по отечественным 0,15 мкм *GaAs pHEMT*, 0,15 мкм *GaN HEMT*, а также зарубежной 0,25 мкм *SiGe BiCMOS* технологиям. Модели верифицированы на основе измерений и включены в библиотеки компонентов для отечественных *GaAs* и *GaN* технологий.

4. Разработана модификация программы *Geneamp*, позволяющая выполнить автоматизированный синтез принципиальных схем линейных и малошумящих СВЧ транзисторных усилителей с использованием моделей реальных пассивных компонентов. Использование программы позволяет значительно ускорить и упростить проектирование данного класса устройств.

5. С использованием модифицированной программы *Geneamp* и созданных параметрических ЭС-моделей пассивных СВЧ компонентов разработаны МИС буферного усилителя диапазона 1-5 ГГц на основе 0,25 *SiGe BiCMOS* технологии, МШУ диапазона 1-3 ГГц с наклонной формой амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) для коррекции коэффициента передачи цифрового аттенюатора на основе технологии печатного монтажа, МИС МШУ диапазона 3-20 ГГц на основе 0,15 мкм *GaAs pHEMT* технологии.

Ценность научных работ

Научные работы соискателя имеют высокую ценность. Она подтверждается многочисленными публикациями их результатов в рецензируемых журналах и конференциях.

Представленная работа выполнялась как составная часть НИР в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы» по направлению «Микроэлектроника» и федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» (мероприятия 1.1-1.5, государственные контракты П669, 14.740.11.0135, 14.740.11.1136, 14.740.11.1261, 14.В37.21.0462, 14.В37.21.0345, 02.G25.31.0042, 14.577.21.0179).

Основные результаты исследований докладывались на следующих научно-технических конференциях: Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо), г. Севастополь, 2012-2013, 2016 гг.; Международная конференция "Инновации в информационных и коммуникационных науках и технологиях" (*"Innovations in Information and Communication Science and Technology"* - ИССТ), ТУСУР, г. Томск, 2012-2014 гг.; Международная научно-практическая конференция «Электронные средства и системы управления», ТУСУР, г. Томск, 2012-2015 гг.; Международная научно-практическая конференция студентов и молодых учёных «Современные техника и технологии», ТПУ, г. Томск, 2012-2015 г.; Всероссийская научно-техническая конференция студентов и молодых ученых «Современные проблемы радиоэлектроники», КГТУ, г. Красноярск, 2012–2014 гг.; Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР», г. Томск, 2012–2016 гг.

Полнота изложенных материалов в печатных работах, опубликованных автором.

По результатам выполненных исследований опубликовано 34 работы, в том числе: в научных журналах, включенных в перечень ВАК (5 статей), в трудах Международных (13) и Всероссийских (13) научных конференций; 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ; 1 свидетельство о регистрации топологии интегральной микросхемы.

Статьи в зарубежных журналах и конференциях

1. Babak L.I., Vjushkov V.A., Dorofeev S.Y., Kalentyev A.A., Garays D.V., Goryainov A.E. Synthesis of matching networks for microwave active circuits based on genetic algorithm // *Microwave and Optical Technology Letters*. – 2014. – V.56, №11. – pp. 2720-2723.

Статьи в журналах из перечня ВАК

1. Горяинов А.Е., Добуш И.М., Бабак Л.И. Построение параметрических моделей пассивных компонентов СВЧ монолитных интегральных схем с использованием программы Extraction-P // Доклады ТУСУР. – 2012. - №2 (26), Ч. 2. – С. 98-103.

2. Калентьев А.А., Добуш И.М., Бабак Л.И., Гарайс Д.В., Горяинов А.Е. Автоматизированное проектирование малошумящего усилителя для приёмника ГНСС на основе генетического алгоритма // Доклады ТУСУР. – 2013. - №4 (30). – С. 45-49.
3. Добуш И.М., Самуилов А.А., Калентьев А.А., Горяинов А.Е., Черкашин М.В., Торхов Н.А., Бабак Л.И. Разработка GaAs-pHEMT-монокристаллического малошумящего усилителя диапазона 3-20 ГГц с использованием программ «визуального» проектирования // Доклады ТУСУР. – 2013. - №4 (30). – С. 39-44.
4. Сальников А.С., Добуш И.М., Горяинов А.Е., Бабак Л.И. Построение параметрической модели монокристаллического тонкопленочного резистора на основе СВЧ-измерений и электромагнитного моделирования // Доклады ТУСУР. – 2014. - №3 (33). – С. 109-117.
5. Гарайс Д.В., Калентьев А.А., Добуш И.М., Жабин Д.А., Горяинов А.Е., Сальников А.С., Бабак Л.И. Программа автоматизированного проектирования СВЧ транзисторных усилителей на основе генетического алгоритма // Автоматизация в промышленности. – 2015. - №9. – С. 39-44.

Специальность, которой соответствует диссертация


Диссертационная работа Горяинова Александра Евгеньевича по своему содержанию соответствует специальности 05.12.07 – «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии» по областям исследований «Разработка методов проектирования и оптимизации антенных систем и СВЧ устройств широкого применения» (п. 9 паспорта).

Диссертация «Автоматизированное построение моделей пассивных компонентов и их применение при структурно-параметрическом синтезе малошумящих СВЧ транзисторных усилителей» Горяинова Александра Евгеньевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.07 «Антенны, СВЧ-устройства и их технологии».


Заключение принято на заседании семинара кафедры КСУП.

Присутствовало на заседании 7 чел. Результаты голосования: «за» – 7 чел., «против» – 0, «воздержалось» – 0 чел., протокол № 3 от «22» 09 2016 г.

Председатель научно-технического семинара,
к.т.н, доцент каф. КСУП


_____ М.В. Черкашин

Ученый секретарь семинара,
к.т.н, доцент каф. КСУП


_____ А.А. Калентьев