УДК 658.512.011.56:004.42

Л.И. Бабак, С.Ю. Дорофеев, М.А. Песков, М.В. Черкашин, Ф.И. Шеерман, А.О. Абрамов, А.А. Самуилов

Разработка интеллектуальной системы автоматизированного проектирования СВЧ-устройств INDESYS

Рассматривается разработка интеллектуальной системы автоматизированного проектирования СВЧ-устройств INDESYS. Система ориентирована прежде всего на решение задач синтеза СВЧ-цепей и устройств, т.е. генерации их принципиальных схем и топологий по поставленным требованиям, в том числе при использовании точных моделей элементов.

Ключевые слова: СВЧ, монолитные интегральные схемы, САПР, INDESYS, синтез, визуальное проектирование, генетические алгоритмы, UML, .NET Framework.

Введение. Существующие САПР, предназначенные для проектирования СВЧ-устройств (такие, как ADS, Microwave Office, Serenade, Genesys и др.), обычно решают только задачу моделирования, т.е. расчёта характеристик по уже заданной принципиальной схеме и топологии устройства. Выбор последних осуществляется на основе эвристического подхода с использованием опыта разработчика, многократного моделирования и оптимизации различных вариантов и т.д. Это делает процесс проектирования СВЧ-устройств длительным и трудоемким и не гарантирует получения наилучших результатов.

Для повышения эффективности проектирования необходимо программное обеспечение, позволяющее решать обратную задачу – синтеза, т.е. генерации принципиальной схемы и топологии СВЧ-устройства по заданным требованиям. При этом в случае проектирования СВЧ монолитных интегральных устройств (МИУ) требуются также программы автоматизированного синтеза, использующие точные модели монолитных элементов. К сожалению, в настоящее время в России и за рубежом отсутствуют программные продукты, обладаю-щие подобными возможностями.

В статье описывается разрабатываемая интеллектуальная система автоматизированного проектирования (синтеза) СВЧ-устройств INDESYS (Intelligent Design System). Она позволит повысить эффективность проектирования СВЧ-устройств (в том числе МИУ), т.е. упростить и ускорить процесс проектирования, улучшить качественные показатели устройств, снизить требования к квалификации разработчиков.

Исследования в области теории, методов и алгоритмов структурного синтеза СВЧ-цепей выполняются авторами в течение ряда лет [1–10]. В результате был создан комплекс экспериментальных программ, предназначенных для синтеза определенных типов СВЧ-устройств [6, 8–13]. Однако эти программные продукты используются отдельно друг от друга и обладают жёсткой внутренней структурой. В связи с этим их применение не очень удобно, а поддержка и дальнейшее развитие значительно осложнены. Одной из целей разработки системы INDESYS является преодоление указанных недостатков.

Концепция и основные характеристики системы. Система INDESYS задумана как программная среда, в которой могут быстро создаваться программы автоматизированного проектирования (моделирования, синтеза) различных типов активных и пассивных СВЧ-устройств, а также средства автоматизации измерений. В настоящее время система в основном ориентирована на проектирование СВЧ транзисторных усилителей (линейных, малошумящих и мощных), а также пассивных согласующих и корректирующих (КЦ) цепей и фильтров. Благодаря открытой архитектуре система может легко дополняться новыми методами, адаптироваться под другие типы решаемых задач и т.д.

Для повышения эффективности в системе INDESYS одновременно применяются два различных принципа «интеллектуализации» программ автоматизированного проектирования:

1) использование интерактивных человеко-машинных процедур, объединяющих возможности современных ЭВМ по обработке и отображению информации с интеллектуальными способностями человека по анализу визуальной информации и принятию решений;

2) использование элементов искусственного интеллекта и, в частности, генетических алгоритмов (ГА).

В основу системы положен ряд разработанных авторами новых подходов, в том числе декомпозиционный метод синтеза активных СВЧ-устройств [1, 2], процедура решения систем нелинейных неравенств на основе построения проекций многомерных областей [14, 15], оригинальные интерактивные процедуры «визуального» проектирования пассивных

цепей [8, 9] на базе технологии «визуальных вычислений» [15], подход к проектированию СВЧ МИУ на основе преобразования моделей элементов [16], автоматический синтез пассивных и активных СВЧ-цепей на базе ГА [10, 13].

В отличие от существующих программных продуктов, разрабатываемая система разрешит, во-первых, генерировать принципиальную схему и топологию устройства по поставленным требованиям и, во-вторых, позволит точно учесть на этапе синтеза потери и паразитные параметры монолитных интегральных элементов. Преимущества разрабатываемой системы состоят в следующем:

1) Благодаря использованию декомпозиционного подхода она позволит решить на единой основе задачи схемотехнического синтеза для широкого класса СВЧ полупроводниковых устройств.

2) Синтез разных типов СВЧ-устройств выполняется при учете полного комплекса характеристик.

3) При проектировании полностью контролируются структура, значения элементов и топология синтезируемых устройств, это позволяет получить практически реализуемые решения.

4) Сочетание автоматической генерации схем и интерактивного «визуального» проектирования обеспечивает гибкость и расширяет возможности системы для пользователей различного уровня.

Структура и реализация системы. Чтобы обеспечить возможность использования системы INDESYS в качестве основы для реализации широкого спектра задач в области проектирования (синтеза) и характеризации (измерения параметров) различных СВЧ-устройств, было решено разделить её на два уровня.

Первый (базовый) уровень Indesys Framework содержит общие механизмы, необходимые для реализации специфики данной предметной области: комплексную арифметику, логическое и геометрическое представление радиоэлектронных цепей, алгоритмы моделирования и расчета характеристик цепей, алгоритмы оптимизации, задание ограничений, расчёт целевых функций, управление измерительной аппаратурой через стандартные протоколы VISA и др. Кроме того, этот уровень реализует общий пользовательский интерфейс, построенный на библиотеке пользовательских элементов управления DXperience фирмы DevExpress, а именно – главное окно программы, дерево проекта, средства отображения данных (графические диаграммы – прямоугольная, полярная и Вольперта–Смита, таблицы), общие диалоговые формы: задания рабочих частот, требований к характеристикам, единиц измерения физических величин и т.д.

Доступ к этому уровню обеспечивается через набор внешних программных интерфейсов Indesys Framework API. Для обеспечения возможности автоматизации системы конечным пользователем в неё встроен скриптовый редактор Indesys ScriptEditor, позволяющий разрабатывать программы на языках C# и Visual Basic .NET. С помощью этого редактора пользователь может разработать программу, которая позволяет задать последовательность определённых действий в системе через использование программных интерфейсов уровня Indesys Framework. Это является особенно удобным при работе с измерительной аппаратурой – например, можно разработать программный скрипт, который снимает данные с прибора, обрабатывает их и выводит результаты в виде графиков. В Indesys ScriptEditor пользователь даже может реализовать собственный алгоритм синтеза устройства заданного класса. Кроме того, Indesys Framework API доступен для внешних программ, что позволяет обеспечить интеграцию с ними, а также разработку программных расширений для системы INDESYS.

Второй уровень системы INDESYS является надстройкой над уровнем Indesys Framework и содержит методы синтеза различных типов СВЧ-устройств. Методы реализованы в виде динамических подключаемых модулей (плагинов), которые могут содержать как конкретные алгоритмы методов синтеза, так и собственный пользовательский интерфейс. Кроме того, плагин может встраивать в систему свои панели инструментов, меню и MDI-окно, с помощью которых пользователь управляет процессом синтеза. Управление системой происходит через Indesys Framework API.

Благодаря тому, что в Indesys Framework содержится большое число общих компонент, используемых при проектировании СВЧ-устройств различных классов, на этой платформе в короткие сроки можно реализовать программы синтеза конкретных типов СВЧ-устройств и осуществить их удобное взаимодействие.

В качестве основы для построения системы был использован шаблон проектирования программных систем (паттерн) Model-View-Controller («Модель-Вид-Контроллер»), активно использовались и другие паттерны. Разработка велась с использованием языка описания моделей UML (Unified Model Language) в программе Enterprise Architect. Всего в

ходе работы над системой было разработано более 70 UML-диаграмм классов, 12 UML-диаграмм вариантов использования программ, 20 UML-диаграмм деятельности. По данным диаграммам был сгенерирован каркасный код на языке C# платформы .NET Framework. Данный код в дальнейшем наполнялся функциональным кодом. После реализации каждого класса и модуля разрабатывался модульный тест с использованием инструмента NUnit. Такой подход к организации процесса разработки и тщательное проектирование структуры программы позволили разработать сложную программную систему, содержащую на данный момент около 1000 различных классов и интерфейсов (без учёта используемых сторонних компонентов).

В настоящий момент на основе платформы Indesys Framework реализованы и реализуются ряд программ синтеза различных типов пассивных и активных СВЧ-устройств, в частности:

– программа «визуального» проектирования КЦ и СЦ на идеальных элементах INDESYS-L;

– программа «визуального» проектирования монолитных КЦ и СЦ INDESYS-LM (интегрирована со средой проектирования СВЧ-устройств MWO);

– программы автоматического синтеза на основе ГА фильтров и СЦ (INDESYS-G) и транзисторных усилителей (INDESYS-GA);

– программа управления измерительными СВЧ приборами INDESYS-MS;

– программа построения моделей элементов СВЧ монолитных интегральных схем на основе многомерных полиномов INDESYS-MB.

Опыт использования программ подтвердил эффективность предложенных подходов и алгоритмов при решении практических задач проектирования СВЧ-устройств. Реализация программ на базе платформы Indesys Framework позволила значительно уменьшить трудоемкость и сократить сроки их разработки.

Работа поддержана грантами международной организации INTAS (№06-1000024-9199), РФФИ (№06-07-96916, №08-07-99034-р_офи и №09-07-99020-р_офи), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по направлениям «Нанотехнологии и наноматериалы», «Создание электронной компонентной базы», «Микроэлектроника» (мероприятия 1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1 и 1.3.2, государственные контракты П1418, П1492, П2188, П669, П499, 16.740.11.0092 и 14.740.11.0135), «Бизнес-старт с Microsoft», «У.М.Н.И.К.» и «Ползуновские гранты».

Литература

1. Бабак Л.И. Структурный синтез СВЧ полупроводниковых устройств на основе декомпозиционного подхода // Труды ТПУ. – 2006. – Вып. 8. – С. 160–165.

2. Babak L.I. Decomposition synthesis approach to design of RF and microwave active circuits // IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest. – Phoenix. AZ. – 2001. – P. 1167–1170.

3. Бабак Л.И. Автоматизированный синтез двухполюсных цепей коррекции полупроводниковых устройств ВЧ и СВЧ // Известия вузов. Радиоэлектроника. – 1993. – Т. 36, № 10. – С. 35–44; № 11. – С. 3–11.

4. Бабак Л.И. Проектирование транзисторных широкополосных СВЧ-усилителей с двухполюсными цепями коррекции и обратной связи // Электронная техника. – Сер. 1. СВЧ-техника (Фрязино). – 1994. – № 2. – С. 16–19; № 3. – С. 9–16.

5. Бабак Л.И. Синтез согласующих цепей и цепей связи транзисторных широкополосных усилителей по областям иммитанса // Радиотехника и электроника. – 1995. – Т. 40, Вып. 10, № 8. – С. 1550–1560.

6. Бабак Л.И. Автоматизированное проектирование малошумящих транзисторных СВЧ-усилителей с реактивными согласующими цепями / Л.И. Бабак, А.Ю. Поляков // Доклады ТУСУРа. – 1997. – №. 1. – С. 94–108.

7. Babak L.I. Computer-aided design of utrawide-band transistor amplifiers using decomposition synthesis method / L.I. Babak, M.V. Cherkashin, M.Yu. Pokrovsky // Proc. 32th European Microwave Conf. – Milan, Italy, 2002. – P. 143–146.

8. Бабак Л.И. «Визуальное» проектирование корректирующих и согласующих цепей полупроводниковых СВЧ-устройств / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // Доклады ТУСУРа. – 2006. – № 6 (14). – С. 11–23.

9. Babak L.I. Interactive «visual» design of matching and compensation networks for microwave active circuits / L.I. Babak, M.V. Cherkashin // IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Digest. – Phoenix. AZ. – 2001. – P. 2095–2098.

10. Бабак Л.И. Автоматизированный синтез согласующих цепей на основе генетического алгоритма / Л.И. Бабак, В.А. Вьюшков // Междунар. науч.-практ. конф. «Электронные средства и системы управления»: сб. докладов. – Томск: Изд-во Института оптики и атмосферы СО РАН, 2005. – Ч. 2. – С. 102–105.

11. Бабак Л.И. Программа «визуального» проектирования корректирующих и согласующих цепей СВЧ-устройств / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, Д.А. Зайцев // 15-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо '2005): в 2 т. – Севастополь: Вебер, 2005. – Т. 2. – С. 423–424.

12. Программы «визуального» проектирования транзисторных СВЧ-усилителей / Л.И. Бабак, М.В. Черкашин, А.Ю. Поляков и др. // 15-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2005): в 2 т. – Севастополь: Вебер, 2005. – Т. 2. – С. 425–426.

13. Дорофеев С.Ю. Синтез согласующих цепей на сосредоточенных и распределённых элементах с использованием генетического алгоритма / С.Ю. Дорофеев, Л.И. Бабак // 18-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2008), Севастополь, 8–12 сент. 2008 г. – Севастополь: Вебер, 2008. – Т. 1. – С. 133–134.

14. Решение задачи стабилизации систем управления на основе построения проекций области устойчивости / Л.И. Бабак, Г.К. Касымова, А.Ю. Поляков, М.В. Черкашин // Вычислительные технологии (Новосибирск). – 2003. – Т. 8. Спец. вып. – С. 103–113.

15. Бабак Л.И. «Визуальные» вычисления: решение систем нелинейных неравенств и многокритериальных проблем // Вестник Том. гос. пед. ун-та. – 2005. – Вып. 7 (51). – С. 21–29.

16. Бабак Л.И. Синтез СВЧ монолитных интегральных устройств на основе преобразования моделей пассивных элементов // 18-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2008), Севастополь, 8–12 сентября 2008 г.: материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2008. – Т. 1. – С. 129–130.

Бабак Леонид Иванович
Канд. техн. наук, доцент каф. компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУРа
Тел.: +7-960-969-91-52
Эл. почта: leonid.babak@rambler.ru

Дорофеев Сергей Юрьевич
Аспирант каф. компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУРа
Тел.: +7-923-418-32-94
Эл. почта: sergei.dorofeev@gmail.com

Песков Михаил Андреевич
Аспирант каф. компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУРа
Тел.: +7-913-803-39-86
Эл. почта: peskovma@sibmail.com

Шеерман Федор Иванович
Канд. тех. наук, доцент каф. компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУРа
Тел.: +7-913-805-94-54
Эл. почта: sfi1493@ms.tusur.ru

Черкашин Михаил Владимирович
Канд. техн. наук, доцент каф. КСУП, декан факультета вычислительных систем
Тел.: +7-906-948-86-48
Эл. почта: mik_cher@mail.ru

Абрамов Алексей Олегович
Аспирант каф. компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУРа
Тел.: +7-953-913-36-36
Эл. почта: lincol@mail.ru

Самуилов Александр Андреевич
Студент каф. компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУРа
Тел.: +7-923-415-92-62
Эл. почта: samuilovaa@gmail.com

Babak L.I., Dorofeev S.Yu., Peskov M.A., Cherkashin M.V.,
Sheyerman F.I., Abramov A.O., Samuilov A.A.

Development of INDESYS - intelligent software system for computer-aided design of microwave circuits

The development of intelligent software system INDESYS for computer-aided design of microwave circuits is presented. The system is aimed at the synthesis problems of microwave circuits, for example, the generation of their circuitry and topologies on the basis of the given requirement, including the use of exact element models.

Keywords: microwaves, MMIC, CAD, INDESYS, synthesis, visual design, genetic algorithms, UML, .NET Framework.