

УДК: 658.512.011.56:004.42

А.О. Абрамов, Л.И. Бабак, И.М. Добуш, С.Ю. Дорофеев, М.А. Песков, А.А. Самуилов

Программа INDESYS-MB для построения моделей элементов СВЧ монолитных интегральных схем на основе многомерных полиномов

Описана программа INDESYS-MB для построения моделей элементов СВЧ монолитных интегральных схем на основе многомерных полиномов по результатам измерений параметров рассеяния. Программа реализована на базе универсальной платформы Indesys Framework.

Ключевые слова: программа, СВЧ монолитные интегральные схемы, модели элементов, аппроксимация, многомерные полиномы.

Введение. Успешное проектирование СВЧ монолитных интегральных схем (МИС) невозможно без точных моделей активных и пассивных монолитных элементов [1], которые должны отражать особенности конкретной технологии изготовления МИС. Кроме того, модели должны быть параметризованными, т.е. позволять рассчитывать характеристики элементов при изменении их конструктивных и технологических параметров (например, геометрических размеров), а в случае активных приборов – также при изменении рабочих режимов.

Для описания электрических характеристик элементов СВЧ МИС обычно используются две группы моделей:

- модели в виде эквивалентных схем (ЭС-модели);
- аппроксимационные модели (в виде многомерных полиномов, нейронных сетей и т.д.).

ЭС-модели часто применяются в существующих САПР СВЧ-устройств в качестве встроенных моделей пассивных и активных компонентов. Однако параметризация таких моделей затруднена, так как значения элементов ЭС должны быть некоторыми функциями конструктивных параметров и рабочих режимов, которые сложно получить.

Преимуществом в этом смысле обладают аппроксимационные модели. Исходными данными для их построения являются параметры рассеяния изготовленных по конкретной технологии активных или пассивных компонентов МИС (обычно тестовых структур), непосредственно измеренные либо полученные на основе электромагнитного анализа. Поэтому такие модели учитывают особенности технологии изготовителя МИС. Определение параметров рассеяния элемента проводится на дискретном множестве частот в узлах заданной сетки изменения его конструктивных (или других) параметров. Вычисление значений параметров рассеяния в промежуточных точках этого множества частот и конструктивных параметров (между узлами сетки) может быть выполнено с использованием того или иного вида многомерной аппроксимации. К достоинствам аппроксимационных моделей, помимо обеспечения параметризации, относятся также быстрое действие, простота интеграции в существующие САПР, а также возможность автоматического построения моделей на основе формальных алгоритмов.

В настоящей статье описаны алгоритмы и программное обеспечение для построения моделей элементов СВЧ МИС на основе многомерных полиномов.

Описание алгоритмов и программы. Для аппроксимации вещественной или мнимой части любого из параметров рассеяния элемента МИС используется дробно-рациональная функция вида:

$$h(\mathbf{X}) = \frac{A(\mathbf{X})}{B(\mathbf{X})}, \quad (1)$$

где A и B – многомерные полиномы; $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор изменяемых параметров. Далее будем полагать, что параметр x_1 – это частота, а параметры x_2, \dots, x_n – конструктивные параметры элемента.

Многомерный полином A можно представить как сумму мономов вида:

$$\sum a_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n} x_1^{k_1} x_2^{k_2} \dots x_n^{k_n}, \quad (2)$$

где k_1, \dots, k_n – вещественные степени переменных x_1, \dots, x_n в мономе; $a_{\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_n}$ – вещественный коэффициент монома; каждый из индексов α_i принимает значение 1, если перемен-

ная x_i присутствует в мономе, и значение 0 в противном случае. Аналогичную структуру имеет многомерный полином B .

Задача приближения сводится к нахождению таких сочетаний мономов, значений коэффициентов и степеней переменных x_1, \dots, x_n в каждом мономе числителя и знаменателя (1), чтобы функция $h(\mathbf{X})$ как можно лучше воспроизводила заданные значения вещественной или мнимой части параметра рассеяния элемента в узлах сетки. При решении сформулированной задачи аппроксимации может быть использован среднеквадратичный или минимаксный критерий близости функций.

Алгоритм решения базируется на двух методах: генетических алгоритмов (ГА) и метод случайного поиска. Оба метода имеют свои положительные и отрицательные стороны.

Генетические алгоритмы – это класс алгоритмов, имитирующих эволюционные процессы в природе на основе механизмов генетического наследования и естественного отбора. Одним из отличий ГА по сравнению с классическими (детерминированными) методами оптимизации является то, что они оперируют не с единственным решением, а с целой совокупностью (популяцией) решений.

Метод случайного поиска представляет собой неуправляемый алгоритм, требующий значительных вычислительных затрат. Этот алгоритм «дороже» в вычислительном плане, чем локальные методы оптимизации [2], например симплекс-метод. Но в то же время случайный поиск более надежен и прост в реализации.

Программа Indesys-MB (Intelligent Design System – Model Builder) предназначена для построения моделей элементов СВЧ МИС на основе многомерных функций вида (1). Программа реализована на базе платформы Indesys Framework [3], которая разрабатывается в Лаборатории интеллектуальных компьютерных систем ТУСУРа. Платформа Indesys Framework содержит общие механизмы, необходимые для реализации специфики данной предметной области: алгоритмы моделирования, оптимизации, задание ограничений, расчёт целевых функций, общий пользовательский интерфейс и т.д.

На рис. 1 представлена схема процесса разработки СВЧ МИС, в котором одним из ключевых этапов является построение моделей элементов с помощью программы Indesys-MB.

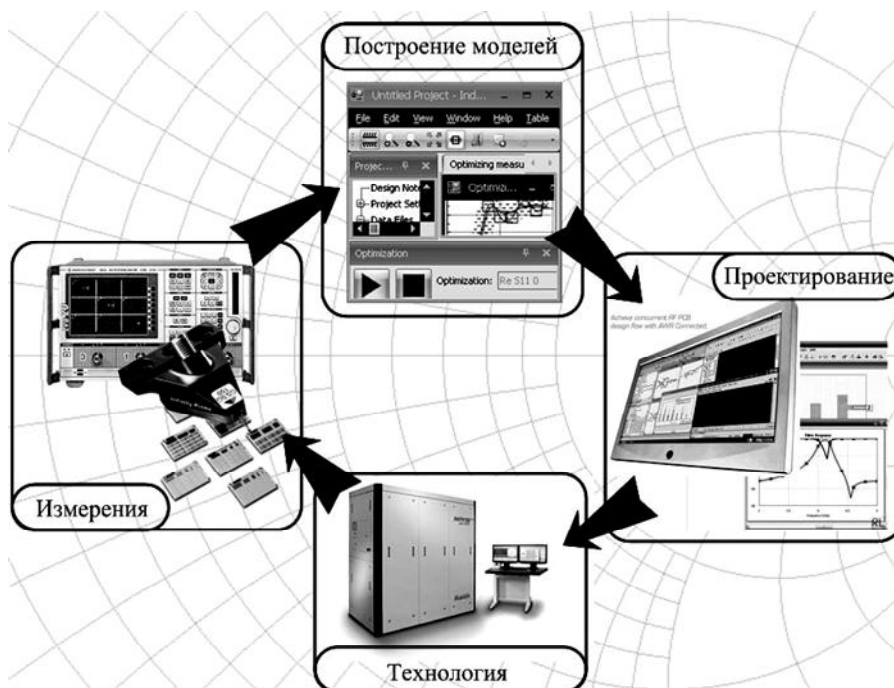


Рис. 1. Схема процесса разработки СВЧ МИС

Процесс создания модели включает следующие этапы:

- получение исходного файла в стандартном формате MDIF, содержащего измеренные (рассчитанные) параметры рассеяния элементов СВЧ МИС на различных частотах при различных сочетаниях конструктивных параметров (рис. 1);
- задание вида функции (1), количества мономов числителя и знаменателя, диапазона варьируемых параметров;

- построение модели (1) по исходным данным, выполнение при необходимости оптимизации модели;
- верификация модели в промежуточных узлах сетки;
- получение математической модели элемента на языке C++ и последующая интеграция в САПР СВЧ-устройств (см. рис. 1).

Программа Indesys-MB позволяет в реальном времени наблюдать за ходом решения задачи аппроксимации. Полученные данные могут быть представлены на графических диаграммах и в табличной форме, что позволяет произвести анализ полученных результатов и оценить ошибки аппроксимации при помощи удобного инструментария. На рис. 2 представлен вид главного окна программы Indesys-MB.

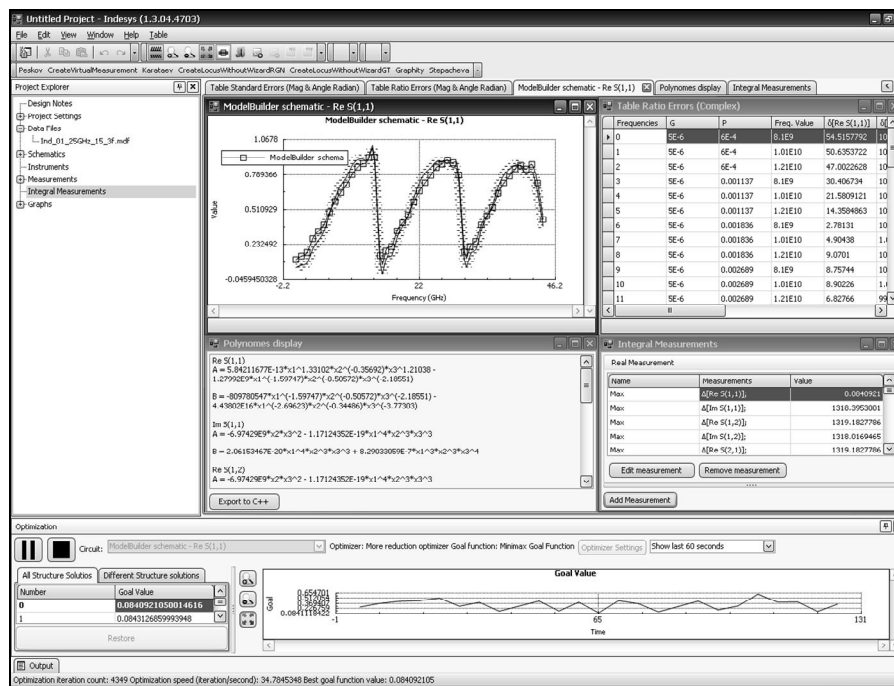


Рис. 2. Вид главного окна программы Indesys-MB

Заключение. На данном этапе программа Indesys-MB позволяет эффективно строить модели элементов СВЧ МИС на основе многомерных полиномов при количестве сочетаний конструктивных параметров (конструктивных состояний) не более 20. При увеличении количества конструктивных состояний и расширении частотного диапазона происходит значительное увеличение времени поиска решения. Поэтому следующим этапом работы являются поиск и разработка более эффективных алгоритмов аппроксимации и оптимизации (на основе нейронных сетей, генетических алгоритмов и др.), а также дробление рабочего частотного диапазона на отдельные поддиапазоны.

Работа выполнялась при поддержке РФФИ в рамках проектов 08-07-99034-р_офи и 09-07-99020-р_офи, а также в рамках 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).

Литература

1. Добуш И.М., Коколов А.А., Бабак Л.И. Исследование моделей элементов копланарных линий для проектирования СВЧ монолитных интегральных схем на основе GaAs // Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы радиоэлектроники». – Красноярск: Изд-во СФУ, 2009. – С. 87–89.
2. Медынский М.М., Антоний Е.В. Численные методы нелинейной оптимизации: алгоритмы и программы. – М.: МАИ, 2003. – 192 с.
3. Песков М.А., Дорофеев С.Ю., Барышников А.С. и др. Интеллектуальная система автоматизированного проектирования СВЧ-устройств INDESYS // Информационные технологии. – №2. – М.: Новые технологии, 2010. – С. 42–48.

Абрамов Алексей Олегович

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

Бабак Леонид Иванович

Канд. техн. наук, доцент каф. (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7-960-969-91-52
Эл. почта: leonid.babak@rambler.ru

Добуш Игорь Мирославович

Аспирант каф. (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7-923-402-92-86
Эл. почта: igadobush@gmail.com

Дорофеев Сергей Юрьевич

Аспирант каф. (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7-923-418-32-94
Эл. почта: sergei.dorofeev@gmail.com

Песков Михаил Андреевич

Аспирант каф. (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7-913-803-39-86
Эл. почта: peskovma@sibmail.com

Самуилов Александр Андреевич

Студент каф. (КСУП) ТУСУРа
Тел.: +7-923-415-92-62
Эл. почта: samuilovaa@gmail.com

Abramov A.O., Babak L.I., Dobush I.M., Dorofeev S.Yu., Peskov M.A., Samuilov A.A.

INDESYS-MB software tool for model building of microwave monolithic integrated circuits elements based on multidimensional polynomials

This article describes the INDESYS-MB software tool intended for model building of microwave monolithic integrated circuits elements based on multidimensional polynomials with the use of measurement results of the scattering parameters. The INDESYS-MB is implemented on the basis of universal INDESYS Framework platform.

Keywords: software, microwave monolithic integrated circuit, models of elements, approximation, multi-dimensional polynomials.
