

УДК 004.94; 621.382

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР ТРАНЗИСТОРОВ

Калита О.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Баранов В.В. – д-р техн. наук, профессор кафедры ПИКС

Аннотация. Представлен обзор наиболее распространенных пакетов программ, используемых для компьютерного моделирования технологических процессов, структуры и характеристик электронных приборов и устройств на современном этапе развития электроники. Описаны основные возможности этих пакетов.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; электроника; микроэлектроника; нанoeлектроника; программное обеспечение; системы автоматизированного проектирования.

Введение. Как и любое другое моделирование, компьютерное моделирование в электронике направлено на создание прототипов различного рода объектов, процессов или систем, в частности, сложных систем, зависящих от совокупности взаимосвязанных или даже случайных факторов, причём, эти факторы могут быть как внутренними, так и внешними. Компьютерное моделирование позволяет значительно снизить затраты на проведение экспериментов и теоретических изысканий, сократить сроки создания и анализа натуральных моделей, а также получить необходимые результаты в максимально удобной форме.

Специализированные компьютерные программы в электронике в настоящее время используются:

- при проектировании и конструировании новых приборов и устройств (Sentaurus, Silvaco, Simulink);
- при проектировании интегральных схем и печатных плат (Cadence, Mentor Graphics);
- для сбора данных и цифровой обработки сигналов (LabView, DAC Tools, ThermaCAM, CodeVisionAVR).

Основная часть. Компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения физических систем. Часто компьютерные модели проще и удобнее исследовать, они позволяют проводить вычислительные эксперименты, реальная постановка которых затруднена или может дать непредсказуемый результат. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемых объектов, исследовать отклик физической системы на изменения ее параметров и начальных условий.

Компьютерное моделирование требует абстрагирования от конкретной природы явлений, построения сначала качественной, а затем и количественной модели. За этим следует проведение серии вычислительных экспериментов на компьютере, интерпретация результатов, сопоставление результатов моделирования с поведением исследуемого объекта, последующее уточнение модели и т.д.

К основным этапам компьютерного моделирования относятся: постановка задачи, определение объекта моделирования; разработка концептуальной модели, выявление основных элементов системы и элементарных актов взаимодействия; формализация, то есть переход к математической модели; создание алгоритма и написание программы; планирование и проведение компьютерных экспериментов; анализ и интерпретация результатов.

Различают аналитическое и имитационное моделирование. Аналитическими называются модели реального объекта, использующие алгебраические, дифференциальные и другие уравнения, а также предусматривающие осуществление однозначной вычислительной процедуры, приводящей к их точному решению. Имитационными называются математические модели, воспроизводящие алгоритм функционирования исследуемой системы путем последовательного выполнения большого количества элементарных операций.

Принципы моделирования состоят в следующем:

1. Принцип информационной достаточности. При полном отсутствии информации об объекте построить модель невозможно. При наличии полной информации моделирование лишено смысла. Существует уровень информационной достаточности, при достижении которого может быть построена модель системы.

2. Принцип осуществимости. Создаваемая модель должна обеспечивать достижение поставленной цели исследования за конечное время.

3. Принцип множественности моделей. Любая конкретная модель отражает лишь некоторые стороны реальной системы. Для полного исследования необходимо построить ряд моделей исследуемого процесса, причем каждая последующая модель должна уточнять предыдущую.

4. Принцип системности. Исследуемая система представима в виде совокупности взаимодействующих друг с другом подсистем, которые моделируются стандартными математическими методами. При этом свойства системы не являются суммой свойств ее элементов.

5. Принцип параметризации. Некоторые подсистемы моделируемой системы могут быть охарактеризованы единственным параметром: вектором, матрицей, графиком, формулой.

Компьютерное моделирование систем часто требует решения дифференциальных уравнений [1-10]. Важным методом является метод сеток, включающий в себя метод конечных разностей Эйлера. Он состоит в том, что область непрерывного изменения одного или нескольких аргументов заменяют конечным множеством узлов, образующих одномерную или многомерную сетку, и работают с функцией дискретного аргумента, что позволяет приближенно вычислить производные и интегралы. При этом бесконечно малые приращения функции и приращения ее аргументов заменяются малыми, но конечными разностями.

В настоящее время ведутся интенсивные исследования НЕМТ-структур на основе GaAs и GaN, направленные на совершенствование микроволновых монолитных интегральных схем. В работе представлены НЕМТ-транзисторы, изготовленные на основе GaAs и GaN с длиной затвора 0,2–0,25 мкм, шириной затвора 200–300 мкм и проведено сравнение их характеристик. Измерены вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики, а также зависимости от частоты малосигнальных S -параметров. Проведено компьютерное моделирование с использованием моделей МАТЕРКА для GaAs-транзистора и ЕЕНЕМТ для GaN-транзистора. Адекватность разработанных моделей подтверждена совпадением измеренных частотных зависимостей параметра $|S_{21}|$ и рассчитанного малосигнального коэффициента усиления мощности. Изучены частотные свойства изготовленных транзисторов. В схемах линейных усилителей рассчитаны предельные частоты колебаний, на которых пропадает усиление мощности. Моделирование показало возможность линейного усиления на частотах до 64 ГГц для GaAs-транзистора и 73 ГГц для GaN-транзистора при одинаковых напряжениях питания. С целью определения максимально возможных усиливаемых частот колебаний спроектированы схемы усилителей с оптимизированной нагрузкой транзисторов. Максимальные частоты колебаний изготовленных транзисторов близки и составили ~82 ГГц. Проведено сравнение энергетических возможностей транзисторов. Малосигнальные коэффициенты усиления мощности транзисторов одинаковы и составляют ~15 дБ на частотах L - и S -диапазонов. Наибольшие токи стока для обоих

транзисторов в щадящем режиме работы составили 0,34 А/мм при напряжении на стоке 3 В. Для определения максимальных КПД добавленной мощности разработаны схемы нелинейных усилителей, рассчитанные на частоту усиливаемых колебаний 3 ГГц. Наибольший КПД добавленной мощности составил 57 % для GaAs-транзистора и 65% для GaN-транзистора. С учетом того, что напряженность электрического поля пробоя в GaN-транзисторе в несколько раз выше, чем в GaAs-транзисторе, показана возможность достижения КПД GaN-транзистора, превышающего 80 %. Полученные результаты полезны для разработки микроволновых монолитных интегральных схем усилителей мощности до частот, включая V -диапазон.

Заключение. В настоящее время САПР, предназначенные для компьютерного моделирования и проектирования в электронике (EDA – Electronic Design Automation) по своему назначению подразделяется на:

- средства автоматизированного проектирования (CAD – Computer-Aided Design);
- средства автоматизации инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов (CAE – Computer-Aided Engineering);
- средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивающие автоматизацию программирования и управления оборудованием (CAM – Computer-Aided Manufacturing);
- средства автоматизации планирования технологических процессов, применяемые на стыке систем CAD и CAM (CAPP – Computer-Aided Process Planning).

Кроме того, многие системы являются комплексными и совмещают в себе решение задач, относящихся к различным аспектам проектирования – CAD/CAM, CAD/CAE, CAD/CAE/CAM. Безусловно, на современном этапе развития этих систем уже невозможно даже поверхностно описать все их возможности, структуру и принципы использования. Сегодня это, по-видимому, дело не одного учебника и не одной монографии. Поэтому в настоящем обзоре мы ограничились лишь кратким рассмотрением программных пакетов и САПР, которые относятся к CAD- и CAE-системам.

Список литературы

1. Мощные AlGaIn/GaN HEMT X- и Ku-диапазонов / Н.А. Торхов, В.Г. Божков, И.М. Добуш и др. // Доклады ТУСУР. – 2015. – № 1 (35). – С. 52–55.
2. Innovative solid state amplifier technology in the 21st century. By CPI SMP Satcom Products Group. – URL: www.cpii.com/satcom/ (дата обращения: 10.03.2023).
3. Browne J. What's the difference between GaN and GaAs? // Microwaves & RF. – 2016. – No. 7. – P. 54–56.
4. Колотун О. Усилители СВЧ на основе технологий GaN и GaAs, эволюция технологии Diamond FETs // Chip News. – 2013. – No. 2 (122). – URL: www.chipnews.com.ua (дата обращения: 10.03.2023). Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. В 2-х томах, - М.: Мир, 1990.
5. Томас Ф., Иванов А. САПР микроэлектроники. Этапы большого пути // Электроника НТБ. 2006. Вып.3. С.82-85 [<http://www.electronics.ru/journal/article/731>].
6. Тумковский С.П. Сервер Spice. Первое знакомство, - М.: Московский государственный институт электроники и математики, 2001.

UDC 004.94; 621.382

APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION TO CREATETRANSISTOR HETEROSTRUCTURES

Kalita O.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Baranov V.V. - Doctor of Technical Sciences, Professor of the of the Department of ICSD

Annotation. A review of the most common software packages used for computer simulation of technological processes, structure and characteristics of electronic instruments and devices at the present stage of development of electronics is presented. The main features of these packages are described.

Keywords: computer simulation; electronics; microelectronics; nanoelectronics; software; computer-aided design systems.