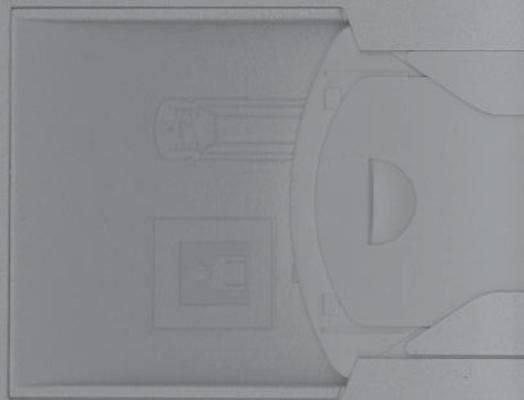


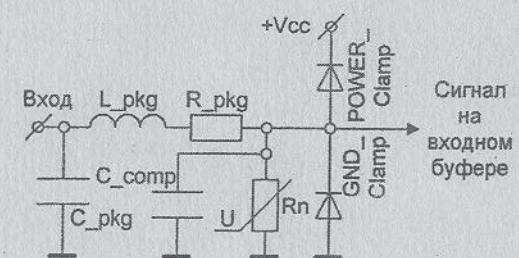


Московский государственный
институт электроники и математики
(технический университет)

Кечиев Л.Н.,
Лемешко Н.В.



Моделирование цифровых устройств
с использованием IBIS-описания
интегральных схем



1
11.05.1

Кечиев Л.Н., Лемешко Н.В.

**Моделирование цифровых устройств
с использованием
IBIS-описания интегральных схем**

БИБЛИОТЕКА
Владимирского
государственного
университета

МОСКВА
2006

Кечиев Л.Н., Лемешко Н.В.

Моделирование цифровых устройств с использованием IBIS-описания интегральных схем. — М.: Издательство МИЭМ, 2006. — 243 с.

В работе рассматриваются вопросы моделирования цифровых узлов с использованием феноменологических макромоделей. Даётся краткий обзор методов моделирования цифровых устройств. Приводится подробное описание основных ключевых слов и подпараметров, из которых составляется спецификация в формате IBIS. Кроме того, в работе предлагается новый подход к моделированию цифровых узлов с использованием IBIS-моделей, основанный на использовании нормированных электрических сигналов.

В работе рассматриваются как широко известные, так и новые схемы замещения буферов цифровых интегральных схем. Приводятся алгоритмы построения спецификации и составления схем замещения цифровых интегральных схем, а также результат сравнения вычислительных затрат при использовании полных SPICE-моделей и IBIS. Работа дополнена информацией об экспериментальных методах определения характеристик IBIS-моделей, а также разделом, где приводятся основные результаты сопоставления практических и расчетных результатов.

Работа будет полезна студентам и аспирантам, которые интересуются общими и частными вопросами моделирования, а также специалистам, занимающимся проектированием быстродействующих цифровых устройств. Сведения, изложенные здесь, являются достаточными для практической работы с IBIS-моделями. Работа может быть использована в качестве учебного пособия при выполнении курсовых, дипломных, исследовательских и других работ.

Авторы выражают признательность к.т.н., доц. Тумковскому С.Р. за его рекомендации и замечания, которые способствовали более точному изложению ряда вопросов.

© Кечиев Л.Н., Лемешко Н.В.
© МИЭМ
2006 г.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ

7

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ

9

1.1. Цифровые устройства как объект моделирования	9
1.1.1. Классификация электронных устройств	9
1.1.2. Моделирование в процессе проектирования цифровых устройств	10

1.2. Методы моделирования цифровых устройств	12
1.2.1. Классификация математических моделей	12
1.2.2. Современные подходы к моделированию цифровых устройств	15

1.3. Постановка задач выполнения работы	20
---	----

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЦУ

21

2.1. ЦИС и их характеристики	21
2.2. Реализация ЦУ на печатных платах и целостность сигналов	25

ГЛАВА 3. IBIS-МОДЕЛИ И IBIS-СПЕЦИФИКАЦИЯ ЦИС

27

3.1. Общие сведения об IBIS-спецификации	27
3.1.1. Развитие IBIS-формата представления данных о ЦИС	27
3.1.2. Синтаксические правила составления IBIS-файлов	30
3.1.3. Структура файлов *.ibs	32

3.2. Классификация IBIS-моделей буферов ЦИС	37
3.2.1. Основные модели	37
3.2.2. Дополнительные модели	51

ГЛАВА 4. КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА И СОСТАВЛЕНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ

56

4.1. Назначение и правила использования ключевых слов в IBIS-спецификации ЦИС	56
4.1.1. Ключевые слова, указывающие технические сведения о файле	56
4.1.2. Ключевые слова, используемые для описания электрических характеристик корпусов ЦИС, внутренних шин питания и указания взаимосвязанных выводов микросхем	59
4.1.3. Ключевые слова, используемые для описания буферов ЦИС	73
4.1.4. Ключевые слова, используемые для описания дополнительных моделей	97
4.1.5. Ключевые слова, используемые для описания динамических свойств выходных буферов, параметров измерительной оснастки и нагрузки при экспериментальном определении временных характеристик	103

4.2. Использование ключевых слов в спецификации моделей разных типов	112	
4.3. Методика построения спецификации в формате IBIS на основе экспериментальных исследований ЦИС	117	
ГЛАВА 5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ IBIS-МОДЕЛЕЙ ЦИС	121	
5.1. Приоритетность подпараметров спецификации	121	
5.2. Аппроксимация таблично заданных характеристик	123	
5.2.1. Подбор эмпирических формул графическим методом	123	
5.2.2. Использование системы MathCAD 2001 для подбора аппроксимирующих функций и построения сплайн-интерполяции	125	
5.2.3. Полиномы Лагранжа и схема Эйткена	129	
5.2.4. Другие методы построения интерполирующих и аппроксимирующих функций	131	
5.2.5. Определение параметров моделей диодов при подготовке данных для моделирования	132	
5.3. Приведение сигналов к нормированному виду	135	
5.4. Переход от текстового описания модели ЦИС к её схеме замещения и выполнение моделирования ЦУ с использованием IBIS	140	
5.4.1. Классификация ключевых слов и подпараметров по применимости для построения схем замещения ЦИС	140	
5.4.2. Структура схем замещения ЦИС. Организация взаимосвязанного функционирования буферов микросхем	142	
5.4.3. Построение схем замещения ЦИС на основании спецификации	144	
5.4.4. Косвенно используемые подпараметры и их адаптация при подготовке данных для моделирования	147	
5.4.5. О функциях управления ключами выходных каскадов	149	
5.4.6. Моделирование ЦУ с использованием IBIS-моделей	151	
5.5. Использование IBIS-моделей в специализированных САПР на примере программы Signal Integrity пакета P-CAD 2001	153	
5.5.1. Назначение и особенности программы. Подготовительные операции	153	
5.5.2. Результаты анализа паразитных эффектов на ПП на примере демонстрационного проекта	154	
5.6. Примеры использования IBIS-моделей для решения задач проектирования ЦУ	157	
5.7. Оценка вычислительных затрат при моделировании с использованием IBIS и полных SPICE-моделей	164	
5.8. Дополнительные применения IBIS-моделей	168	
ГЛАВА 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК IBIS-МОДЕЛЕЙ ЦИС	169	
6.1. Общие требования и особенности методики экспериментального определения характеристик для построения IBIS-спецификации	169	
6.2. Качественные характеристики IBIS-моделей и их определение	170	
6.3. Численные характеристики IBIS-моделей ЦИС и их определение	173	
6.3.1. Об определении паразитных характеристик выводов ЦИС	174	
6.3.2. Определение значений подпараметров vdiff и tdelay ключевого слова [Diff Pin] и характеристик Vdiff_ac и Vdiff_dc дифференциального буфера	175	
6.3.3. Определение значений подпараметров ключевого слова [Model]	177	
6.3.4. Определение значений подпараметров ключевого слова [Model Spec]	181	
6.3.5. Определение численных значений подпараметров ключевого слова [Receiver Threshold]	184	
6.3.6. Определение температурного интервала и напряжений на шинах питания	187	
6.3.7. Измерение времен транзита TTpower и TTgnd	187	
6.3.8. Снятие табулированных характеристик [Pulldown], [Pullup], [GND Clamp], [POWER Clamp]	188	
6.3.9. Измерение характеристик для модели типа Terminator	190	
6.3.10. Определение значений тока, заносимых в таблицу под ключевым словом [Series Current]	192	
6.3.11. Экспериментально определение тока через связь между выводами, образованную парой КМОП-ключей	193	
6.3.12. Определение динамических характеристик выходных буферов	194	
6.4. Определение структуры и характеристик пассивной электрической связи между выводами ЦИС на основе частотного анализа	195	
6.4.1. Виды моделей пассивных электрических связей	195	
6.4.2. Идентификация структуры пассивной связи	196	
6.4.3. Определение характеристик элементов цепи, образующей пассивную связь	199	
6.5. Вопросы в области экспериментального определения характеристик для построения IBIS-моделей, требующие дополнительной проработки	205	
ГЛАВА 7. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА АДЕКВАТНОСТИ IBIS-МОДЕЛЕЙ	206	
7.1. Счетчик импульсов как объект исследования	206	
7.1.1. Краткое описание счетчика и дополнительных модулей. Структурные и принципиальные электрические схемы	206	
7.1.2. Интегральные компоненты устройства	209	
7.1.3. Физическая реализация модулей устройства	214	
7.2. Экспериментальное получение характеристик для построения IBIS-моделей ЦИС. Осциллограммы напряжений в контрольных точках схем	217	

7.2.1. Измерительная аппаратура, использовавшаяся для снятия характеристик и осцилограмм в контрольных точках	217
7.2.2. Экспериментально полученные характеристики ЦИС	218
7.2.3. Дополнительная измерительная оснастка	220
7.2.4. Осциллографы напряжений в контрольных точках схемы	222
7.3. Моделирование цифрового устройства	224
7.3.1. Моделирование генератора на основе IBIS	224
7.3.2. Моделирование переключения выхода счетчика в момент прихода фронтов	225
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. КОДОВАЯ ТАБЛИЦА ASCII	227
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ТЕКСТЫ ВХОДНЫХ ФАЙЛОВ	230
ЛИТЕРАТУРА	240
Литература к главе 1	240
Литература к главе 2	240
Литература к главе 3	241
Литература к главе 4	241
Литература к главе 5	241
Литература к главе 6	242
Литература к главе 7	243

Введение

В настоящее время электроника достигла фантастического уровня как по быстродействию, так и по функциональным возможностям. Современная жизнь не мыслится без мощных, высокопроизводительных систем. Основной тенденцией в развитии радиоэлектронной и электронно-вычислительной техники является повышение скорости обработки информации. Вместе с тем, усложнение структуры цифровых устройств и требования по сокращению сроков проектирования и доводки аппаратуры приводят к необходимости использования вычислительных средств, позволяющих существенным образом улучшить технико-экономические показатели процесса разработки электронных устройств.

Наиболее распространенной на сегодняшний день является цифровая техника. Цифровые узлы стали неотъемлемой частью практически любых устройств. Их разработка является важным практико-теоретическим вопросом. В связи с повышением рабочих частот особое значение приобретает внутрисистемная и межсистемная электромагнитная совместимость. Поскольку в условиях рыночной конкуренции стоимость конечного продукта зависит не только от затрат на производство, но и от трудоемкости и длительности проектирования, то важнейшим требованием является обеспечение бесшлейфового функционирования на этапе разработки устройства. Поэтому важное практическое значение имеет моделирование, позволяющее обоснованно выбирать схемотехнические и конструкторские решения, способствующие обеспечению целостности сигналов.

Возможности моделирования ограничиваются разумными временными и вычислительными затратами. С ростом числа интегральных компонентов в микросхемах их полное схемотехническое моделирование в составе цифровых узлов становится нецелесообразным, т.к. оно занимает длительное время. Вместе с тем, фирмы-разработчики интегральных элементов не заинтересованы в распространении их принципиальных электрических схем, т.к. они представляют собой коммерческую тайну. Даже в том случае, если эти схемы известны, составленные на их основе модели оказываются чрезвычайно сложными. Применение этих моделей требует огромных, а часто неприемлемых вычислительных затрат.

Эти причины привели к возникновению и развитию нового направления в моделировании. Оно основано на использовании феноменологических, описательных моделей буферов цифровых интегральных схем. Распространение сигналов внутри микросхем не рассматривается. Такие модели предназначались для анализа целостности сигналов и перекрестных помех на печатных платах. Однако, как показывают проведенные авторами работы исследования, область практического приложения IBIS этим далеко не ограничивается. Показано, что такой подход может быть эффективен при решении и других инженерных задач.

IBIS-модели получают все большее распространение. Крупнейшие фирмы-производители микросхем формируют IBIS-модели для своей продукции, и обеспечивают свободный доступ к ним через всемирную компьютерную сеть. Поскольку это направление новое, то оно мало известно инженерам в России. С другой стороны, как показывают обсуждения на форумах разработчиков цифровой техники, потребность в сведениях об IBIS очень велика. Это свидетельствует об актуальности рассматриваемых в работе вопросов.