

КОМПЛЕКТЫ ВИЗУАЛЬНЫХ И РАСЧЕТНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПО ОСНОВАМ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

В.В. Новиков, В.В. Генович, Д.М. Гриншпун

Рассмотрены вопросы разработки комплектов компьютерных моделей электронных устройств, входящих в состав виртуального лабораторного комплекса по основам электронной обработки информации. Вводятся понятия визуальных и расчетных моделей в рамках комплекса, комплектов визуальных и расчетных моделей, рассматриваются этапы их разработки и вопросы составления математических описаний моделей – определения применяемых способов аппроксимации и методов составления математических описаний. Анализируются требования к визуальным и расчетным моделям с технической и педагогической сторон, приводится результат разработки комплектов.

Ключевые слова: виртуальный лабораторный комплекс, основы электронной обработки информации, визуальные модели, расчетные модели.

Введение

Представленный в настоящей работе виртуальный лабораторный комплекс предназначен для математического моделирования и визуального представления физических процессов в электронных узлах формирования цифровых сигналов и их логических преобразований.

Разработка комплекса (далее – Комплекса) ведется с 2008 г. Первые результаты, продемонстрированные на «V Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых» в 2008 г. и на конференции «Научный потенциал-XXI век» в 2009 г. [1, 2], содержали разработки по тематическим разделам «Формирование цифровых сигналов»; «Принципиальная реализация логических элементов»; «Синтез комбинационных схем» и состояли из нескольких разработанных лабораторных работ, включавших лабораторные установки (компьютерные модели имитируемых устройств) и методические указания по их выполнению. При этом компьютерные модели имитируемых устройств делились на два типа: имитационные и функциональные.

Педагогический эксперимент привел к выводу о целесообразности тематического расширения и разработки единой концепции виртуальных лабораторных комплексов по основам цифровой электронной обработки информации (далее – Концепция). Она была представлена на конференциях «Телематика'2010» и «Современные достижения в науке и образовании» в 2010 г. [3, 4]. В соответствии с Концепцией Комплекс дополнен еще двумя типами моделей: расчетными и визуальными. Под расчетной понимается модель исследуемого объекта, предназначенная для контроля знаний учащихся и проведения лабораторных работ; под визуальной – модель исследуемого объекта, наглядно демонстрирующая принцип его функционирования на уровне физических процессов; под комплектом расчетных моделей (КРМ) и комплектом визуальных моделей (КВМ) – набор расчетных и визуальных моделей по тематическим разделам:

- формирование цифровых сигналов (ФЦС);
- логические элементы (на биполярных транзисторах) (ЛЭ 1);
- логические элементы (на полевых структурах) (ЛЭ 2);
- трехстабильные логические элементы (ТСЭ);
- комбинационная/некомбинационная логика (КЛ/НКЛ);
- магистральные структуры (МС);
- программируемые структуры (ПС).

Результаты первых этапов разработки представлены на конференции «Телематика'2010» [5].

Обоснование разработки

Разработка осуществляется на основе выработанных экспертным методом требований, подробно изложенных в Концепции [3]. Так, визуальные модели (ВМ) должны:

- отображать схемы изучаемых электронных узлов;
- функционировать на основе их математического описания;
- обеспечивать интерактивный режим использования – реакцию на задаваемые пользователем посредством имитаторов приборных органов управления воздействий (установку параметров электронных узлов и входных сигналов) и динамическое отображение результатов моделирующего расчета при помощи элементов индикации, имитирующих физические измерительные приборы;
- наглядно отображать физические процессы, протекающие в электронных устройствах.

Расчетные модели (РМ) также должны отображать схемы изучаемых электронных узлов, функционировать на основе их математического описания и обеспечивать интерактивный режим использования, но в отличие от ВМ, интерактивность достигается вводом и выводом непосредственно числовых значений вместо имитации приборного управления и индикации. Кроме того, должен производиться вывод дополнительных параметров, избыточных с точки зрения получения конечных значений, но необходимых для обоснования математических описаний и путей решения – напряжения и силы токов в каждом узле и цепи устройства.

Кроме того, должна быть учтена специфика целевой аудитории – студенты и учащиеся образовательных уровней среднего профессионального образования (ОУ СПО), начального профессионального образования (НПО), школьники старших классов информационно-технологического профиля. Это определяет предпочтительно линейный (кусочно-линейный) метод аппроксимации нелинейных характеристик полупроводниковых приборов.

Сопоставительный анализ аналогичных решений комплексов лабораторных и демонстрационных работ [6–14] показал, что все представленные программные продукты обладают возможностью интерактивности и индикации измерительных показаний. Однако визуализацию на уровне физических процессов реализуют только отдельные модели пакета «Открытая физика», в которых отсутствуют модели полупроводниковых элементов, и ни один аналог не поддерживает линейную аппроксимацию характеристик полупроводниковых элементов, основываясь на математическом описании системой дифференциальных уравнений, что исключает эффективное применение целевой аудиторией указанного образовательного уровня.

Все вышеизложенное привело к двухэтапной разработке оригинального комплекса:

- математические описания работы электронных устройств;
- создание расчетных и визуальных моделей устройств на основе их математических описаний.

Разработка математического описания

Согласно Концепции, математическое описание всех типов моделей в рамках одного тематического раздела и одного образовательного уровня должны быть одинаковы, что позволяет разрабатывать единые математические модели (ММ). Образовательный уровень целевой аудитории определил следующий способ аппроксимации характеристик полупроводниковых приборов:

1. Вольтамперная характеристика р-п-перехода аппроксимирована ступенчатой функцией: падение напряжения при прямом включении составляет 0,6 В; обратный ток равен нулю.
2. В линейном режиме работы биполярного транзистора коэффициент передачи по току $\beta = \frac{i_k}{i_b}$ (i_k, i_b – ток коллектора и базы) принимается равным константе.
3. В режиме насыщения биполярного транзистора минимальная разность потенциалов между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$ равна 0,4 В.

Приведенные численные значения соответствуют характеристикам маломощных высокочастотных кремниевых полупроводниковых диодов и транзисторов.

Составление ММ состоит из следующих этапов:

- определение областей режимов работы имитируемого электронного узла (сочетаний состояний входящих в него полупроводниковых приборов);
- исключение из полученного множества режимов невозможных при задаваемых значениях параметров цепи;
- определение условий работы каждого рабочего режима;
- разработка ММ для рабочих режимов.

Разработка ВМ

Приняты следующие способы визуализации: движение потока «положительно заряженных частиц», направление движения которых совпадает с направлением тока, или потока электронов, направление движения которых обратно направлению тока.

Для разработки графического интерфейса применен программный пакет Adobe Flash, для моделирования и программной визуализации – встроенный язык программирования ActionScript 3.0.

Схема функционирования визуальных моделей включает в себя три этапа.

1. Ввод данных с помощью приборных органов управления: параметров имитируемого электронного узла и входных сигналов.
2. Расчет, состоящий из трех шагов:
 - расчет всех рабочих режимов модели;
 - проверка на непротиворечивость условиям работы режимов;
 - вывод результатов расчета непротиворечивого режима.
3. Визуализация – определение путей движения заряженных частиц в электронной схеме и плотности их потока; вывод на монитор.

Разработка РМ

В качестве программной среды используется продукт, не требующий специальных знаний и навыков программирования, но обеспечивающий реализацию математического описания модели на уровне расчета – MS Excel. Схема функционирования РМ, как и ВМ, состоит из тех же этапов, за исключением

режима ввода и вывода данных, которых на порядки больше, и поэтому используются упрощенные поля форм.

Каждая модель представляет собой стандартную книгу MS Excel, состоящую из титульного листа и листов ММ режимов. Ячейки листов разделяются на два типа: ячейки с данными и параметрами и ячейки с формулами. Задачи титульного листа:

- обеспечение ввода параметров и входных сигналов модели;
- передача параметров и входных сигналов на листы ММ;
- вывод результатов проверок каждого рабочего режима.

Задачей листов ММ является расчет промежуточных и выходных значений.

В соответствии с этим титульный лист включает в себя следующие таблицы:

- параметров схемы;
- входных сигналов;
- вектора проверок режимов.

Листы ММ моделей режимов включают в себя таблицы:

- параметров схемы;
- входных сигналов;
- промежуточных значений;
- входных и выходных значений;
- результатов проверок режимов.

Вектор проверок режимов формируется на основе результатов проверок режима по каждому листу ММ.

Пример разработки

В качестве примеров представлены интерфейсные окна визуальной (рис. 1) и расчетной (рис. 2) моделей двухкаскадного узла формирования двухтактных сигналов в схемотехнике транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Назначение этих моделей – демонстрация принципа работы.

Входные данные: сопротивления $R1, R2, R3, R4$ и напряжение $U_{вх}$, напряжение электропитания E .

Выходные данные: напряжения U_{y1} и U_{y2} .

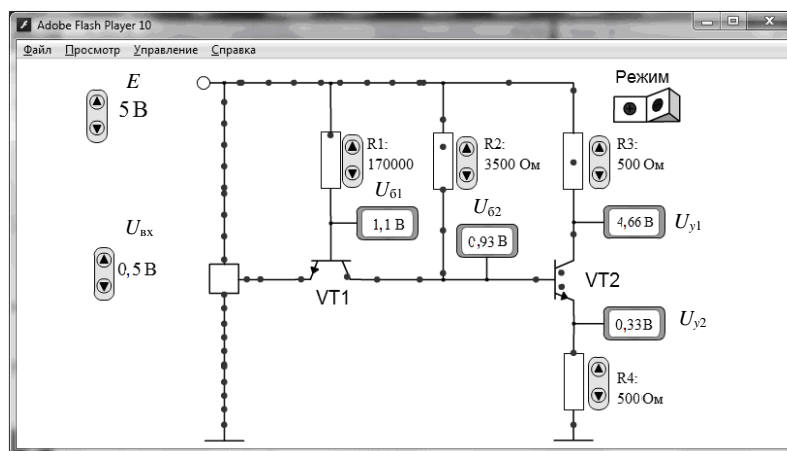


Рис. 1. Иллюстрация окна ВМ «Двухкаскадный узел формирования двухтактных сигналов в схемотехнике ТТЛ»

В соответствии с тематическим разделом (формирование цифровых сигналов) наибольший интерес представляют переключательные свойства моделируемого электронного устройства, непосредственно зависящие от переходных режимов полупроводниковых элементов. В связи с этим важно оценить адекватность функционирования разработанных моделей в переходных режимах.

В качестве метода оценки было применено сопоставление представленной выше модели двухкаскадного узла формирования двухтактных сигналов в схемотехнике ТТЛ (модель А) с аналогичной, построенной в среде наиболее близкого аналога Multisim 11 (моделью Б). В первом случае использовалась модель транзистора КТ315, во втором случае – зарубежный аналог 2N2712.

На рис. 3 представлена временная диаграмма входного сигнала, на рис. 4 – укрупненные временные диаграммы выходных сигналов.

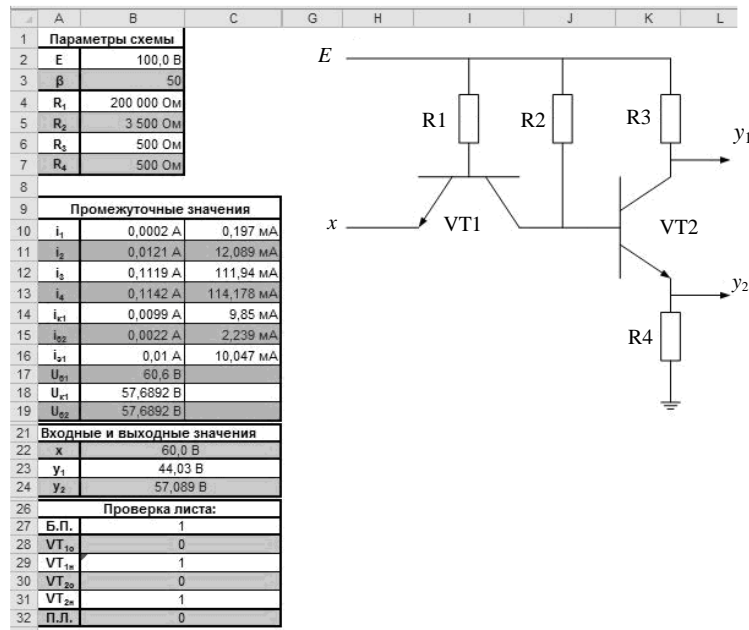


Рис. 2. Фрагмент окна РМ «Двухкаскадный узел формирования двухтактных сигналов в схемотехнике ТТЛ»

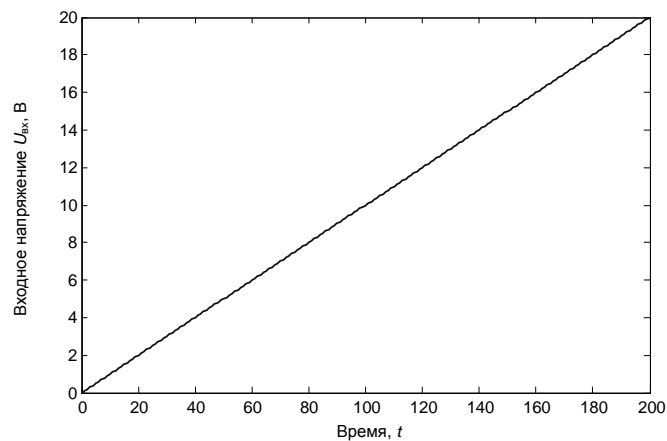
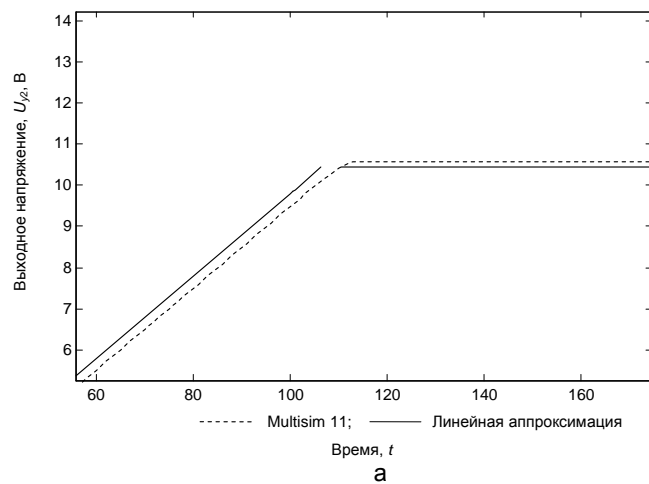


Рис. 3. Временная диаграмма входного сигнала



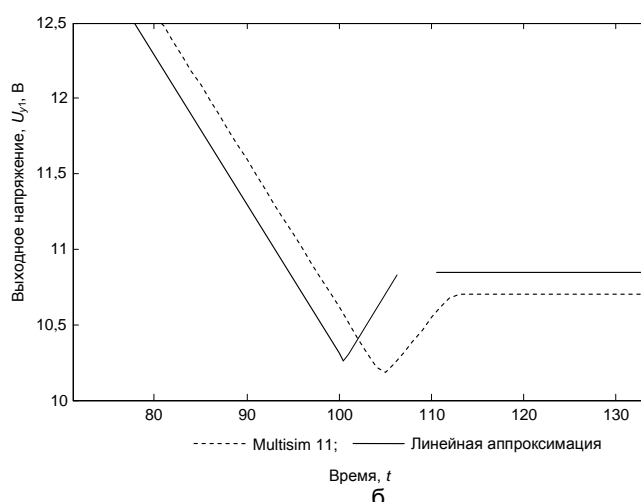


Рис. 4. Временная диаграмма переходных режимов: сигнал U_{y2} (а); сигнал U_{y1} (б)

Сопоставление временных диаграмм показывает практически полное соответствие результатов модели А и модели Б на линейных участках. В то же время на одном из переходных участков виден разрыв, вызванный неопределенностью режима модели А, что говорит о том, что вектор режима в зоне разрыва не определен, т.е. ни одно из условий существующих рабочих режимов этой модели не выполняется. Вызван этот эффект применением упрощенного способа аппроксимации нелинейной характеристики транзисторов, о чем говорилось выше. В то же время переход на более совершенные способы (описание с помощью системы дифференциальных уравнений) не будет соответствовать образовательному уровню ОУ СПО ввиду сложности такой ММ. В связи с этим принято следующее решение: методика выполнения соответствующей лабораторной работы основывается на представленной модели, а полученный эффект представляется студентам в демонстрационном режиме.

Заключение

В настоящее время разработаны следующие визуальные и расчетные модели:

1. Транзисторный каскад с общим эмиттером, соответствующий разделу ФЦС;
2. Двухкаскадный узел формирования двухтактных сигналов в схемотехнике ТТЛ, соответствующий разделу ФЦС;
3. Транзисторный каскад с общей базой, соответствующий разделу ФЦС;
4. Логический элемент «НЕ» (ТТЛ), соответствующий разделу ЛЭ 1;
5. Трехстабильный элемент «НЕ» (ТТЛ), соответствующий разделу ТСЭ.

В ближайшее время планируется проведение полноценного опробования визуальных и расчетных моделей в учебном процессе факультета среднего профессионального образования Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики в рамках дисциплины «Компьютерное моделирование аппаратной обработки данных» с введением в соответствующую рабочую учебную программу. Предполагается дальнейшее расширение комплектов моделей.

Литература

1. Новиков В.В. Виртуальный лабораторный комплекс по основам полупроводниковой цифровой электроники // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2008. – Вып. 52. – С. 129–133.
2. Новиков В.В. Виртуальный лабораторный комплекс по основам полупроводниковой цифровой электроники // Сборник тезисов «Научный потенциал-XXI». – М., 2009. – С. 117.
3. Гриншпун Д.М. Виртуальные лабораторные комплексы по основам цифровой электроники // Труды XVII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2010». – СПб, 2010. – Т. 2. – С. 340–342.
4. Гриншпун Д.М. Виртуальные лабораторные комплексы по основам цифровой электронной обработки информации как средство повышения качества ИТ-образования // Сборник трудов IV Международной научной конференции «Современные достижения в науке и образовании». – Будва, 2010. – С. 12.
5. Новиков В.В., Гриншпун Д.М. Интерактивный визуально-демонстрационный виртуальный лабораторный комплекс по основам цифровой электроники // Труды XVII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2010». – СПб, 2010. – Т. 2. – С. 342.
6. Гамбург К.С. Виртуальные стендовые лабораторные работы как инновационная форма контекстного обучения. Дис. ... канд. пед. наук. – М., 2006. – 186 с.

7. Лапшина И.В. Виртуальная информационно-образовательная лаборатория в профессиональной подготовке студентов. Дис. ... канд. пед. наук. – Ставрополь, 2002. – 188 с.
8. Медведева О.А. Развитие познавательной деятельности старшеклассников посредством виртуальной информационно-образовательной лаборатории. Дис. ... канд. пед. наук. – Карачаевск, 2006. – 186 с.
9. Ревинская О.Г. Методика проектирования и проведения компьютерных лабораторных работ для изучения теоретических моделей явлений и процессов в курсе физики технического вуза. Дис. ... канд. пед. наук. – Томск, 2006. – 229 с.
10. Саватеев Д.А. Компьютерное моделирование в изучении физических основ электромагнитных явлений в курсах общей физики и специальных дисциплин технического вуза. Дис. ... канд. пед. наук. – СПб, 2007. – 158 с.
11. Официальный сайт программной среды виртуального моделирования Edison 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.edisonlab.com>, свободный, Яз. англ. (дата обращения 08.11.2011).
12. Официальный сайт программной среды виртуального моделирования Yenka Technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.yenka.com/en/Yenka_Technology/, свободный, Яз. англ. (дата обращения 08.11.2011).
13. Официальный сайт программной среды виртуального моделирования Electronic Workbench Multisim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ni.com/multisim/>, свободный, Яз. англ. (дата обращения 08.11.2011).
14. Официальный сайт разработчиков пакета «Открытая физика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.physicon.ru>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 08.11.2011).

- Новиков Василий Викторович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, novikov.vz@gmail.com
- Генович Владимир Витальевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, genovich.v.v@gmail.com
- Гриншпун Дмитрий Михайлович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, декан, dm.grinshpun@gmail.com