

Введение

Данная книга представляет собой фундаментальное изложение основных принципов и технологий построения современных цифровых схем и предназначена для использования в качестве учебного пособия для студентов технических специальностей. Материал книги доступен независимо от того, владеет ли читатель начальными знаниями в области электроники, хотя подобные навыки только облегчили бы понимание этого материала. Те разделы, где эти знания необходимы, можно попросту опустить без ущерба для понимания логических принципов в целом.

Что нового?

Восьмое издание выгодно отличается от седьмого. Книга написана простым языком, и разобраться в ней сможет не только специалист. Материал седьмого издания частично был изменен и расширен с целью более полного и подробного описания. Появились новые примеры, контрольные вопросы в конце каждого раздела, введены упражнения для самостоятельного выполнения после каждой главы. Все это сделано для лучшего усвоения новых знаний и закрепления уже пройденного материала.

Описание ПЛУ

Наиболее значительное изменение по сравнению с седьмым изданием книги *Цифровые системы: принципы и возможные применения* — новый подход в изучении программируемых логических устройств (ПЛУ). В виде ПЛУ можно реализовать любую логическую схему, начиная от простейших логических элементов и заканчивая сложными цифровыми системами. Революционные изменения в технологии неизменно влекут за собой изменения в изложении соответствующих тем (например, переход от вакуумной лампы к транзистору, или скачок от транзисторных схем к схемам на основе операционных усилителей). Пятнадцать последних лет технология двигалась навстречу программируемой логике. В современных цифровых системах малые и средние интегральные схемы в основном уже выполняют второстепенные функции. Программируемые устройства, матрицы логических элементов, заказные ИС разрабатываются на основе последних достижений в области цифровых систем. Однако чтобы понять, как создаются эти микросхемы, нужно в первую очередь ознакомиться с элементами, из которых они состоят. Это дешифраторы, мультиплексоры, сумматоры, буферные устройства, триггеры, регистры, счетчики и т.д. Важнейшим этапом вводных лабораторных занятий является разводка и тестирование этих элементов. Занятия способствуют установлению четкой терминологии — двоичные входы и выходы, действие физического устройства, практические ограничения. Большим плюсом есть совместный (дискуссионный) поиск причин каких-либо неисправностей.

Отметим, что текстовое, графическое описание схем или даже компьютерное моделирование не могут дать равноценной замены работе с макетами. В качестве макетов можно использовать программируемые устройства, которые ничем не будут уступать средним интегральным схемам. Современная технология подразумевает создание схем отдельных базовых элементов в качестве ПЛУ, поэтому наряду со знаниями об этих элементах необходимо расширять знания и о программируемых устройствах. Скорее всего, читатель сможет разрабатывать логические схемы с использованием ПЛУ прежде, чем разберется во всех деталях его работы. Сперва предлагается изучить последовательность программирования на относительно простых схемах. По мере знакомства с более сложными схемами читатели будут узнавать и о преимуществах различных языков программирования. В итоге, после изучения всех основных элементов, станет понятной схематика ПЛУ, все его возможности и ограничения.

Очередность

Подойти к описанию ПЛУ можно по одному из *трех* путей: а) опустить весь материал, касающийся ПЛУ, не нарушая при этом последовательности изложения; б) вынести его как отдельную тему, в виде последних разделов глав 4, 5, 6, 7 и 9 прежде, чем читать главу 12; в) изучение ПЛУ можно представить как независимый курс, и включить в программу лекций и лабораторных занятий. Такой механизм обеспечит максимальную гибкость графиков чтения различных курсов.

Преподаватели довольно редко читают главы в той последовательности, в которой они приведены здесь. Книга написана таким образом, что каждая глава большей частью основана на предыдущем материале, однако их порядок можно немного изменить. Первую часть главы 6 (арифметические операции) можно прочесть после главы 2 (системы счисления), хотя в этом случае еще не скоро встретится упоминание об арифметических схемах из шестой главы. Большую часть материала главы 8 (характеристики ИС) можно рассмотреть раньше (после главы 4 или 5), и это не вызовет серьезных недоразумений.

Курс лекций, составленный по этой книге, может быть рассчитан как на один, так и на два семестра. Если это семестровый курс и количество отведенного времени невелико, то некоторые темы можно просто исключить. Ниже приведен список разделов и глав, отсутствие которых практически не нарушает целостности изложения. Очевидно, выбор будет зависеть от программы, намеченных целей и пожеланий студентов.

Глава 1:	Все	Глава 8:	Разделы 11, 14–21
Глава 2:	Раздел 6	Глава 9:	Разделы 5, 9, 15
Глава 4:	Разделы 7, 10–14	Глава 10:	Разделы 7, 14–18
Глава 5:	Разделы 3, 24–26	Глава 11:	Разделы 17–21
Глава 6:	Разделы 5–7, 11, 13, 16–20	Глава 12:	Все
Глава 7:	Разделы 10, 14, 23–25		

Типы упражнений

Седьмое издание содержало четыре типа упражнений: сложные (С), на выявление неисправностей в схемах (Т), на усвоение нового материала (N), на разработку схем (D). В восьмом издании добавился еще один тип упражнений, который обозначается как (В). Это задачи, касающиеся *базовых* моментов того, о чем говорится в отдельных главах. Также появилось больше упражнений, направленных на понимание изложенного материала. Если задание не относится к вышеперечисленным, значит, оно имеет промежуточный уровень сложности, где-то между трудным и основным.

Перечни технических характеристик

Технические спецификации отдельных интегральных схем приведены в приложении Б, которое представлено в конце книги.

Технология ИС

В этом издании, как и в двух предыдущих, больше внимания уделено технологии КМОП, которая занимает ведущее положение в области малых и средних интегральных схем, хотя на данный момент в целом преобладает ТТЛ-технология.

Примеры промышленного применения

Примеры, приведенные в предыдущих изданиях, мы использовали и здесь для ответа на возникающий у некоторых студентов вопрос: “А зачем все это нужно знать?” Примерами могут служить схемы управления копировальных аппаратов, устройства циклового программного управления технологическими жидкостями, датчики контроля над напряжением бортового питания на космическом корабле, цифровой термостат, функциональный преобразователь таблиц соответствия. Примеры

ры использования ПЛЮ раскрывают дополнительные возможности реализации эквивалентных СИС и МИС. Приводятся новые решения, объединяющие несколько различных типов схем и методов исполнения в одну автономную систему ПЛЮ. Например, на рис. Р.1 показана схема управления шаговым двигателем, где элемент GAL 16V8, выступающий как схема сопряжения, включает в себя контроллер последовательности, дешифратор и буферизованные выходы с тремя состояниями. Это очень полезное практическое решение при работе с шаговыми двигателями в лаборатории. На рис. Р.2 изображена схема для клавишного кодирующего устройства, которое часто используется в качестве устройства ввода в микропроцессорах и других цифровых системах. Схема состоит из последовательности кольцевых счетчиков, шифраторов и контролируемого выхода с тремя состояниями. Схемы, приведенные в примерах, достаточно просто создаются и их можно использовать как отдельные элементы в последующих экспериментах.

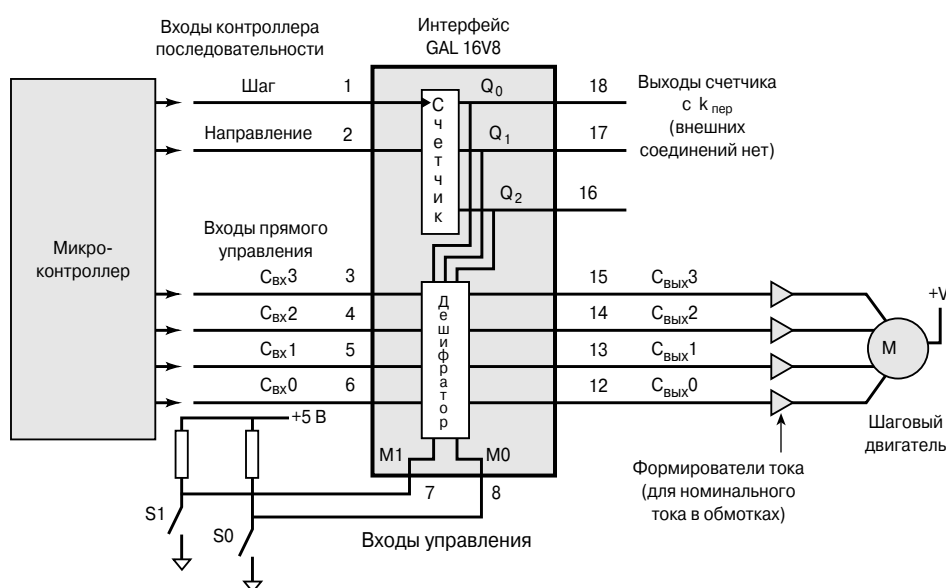


Рис. Р.1. Схема управления шагового двигателя, показанная на рис. 12.20

Изменения в содержании глав

Произошли изменения и в тематике отдельных глав:

- **Глава 1.** Взгляд на “цифровое будущее” основывается на последних достижениях науки и техники.
- **Глава 2.** Теперь в этой главе описаны новые и усовершенствованы старые методы использования калькуляторов для перехода от одной системы счисления к другой.
- **Глава 3.** Несколько сократилось рассмотрение стандартных обозначений логических элементов (IEEE).
- **Глава 4.** а) Появилась информация об использовании карт Карно, включая детальный пример “безразличных состояний” элемента; б) ПЛЮ представлено как альтернативная основа для создания логических схем. По возможности просто показаны общие принципы действия таких устройств на примере схем, программируемых с помощью технологии плавких перемычек. Указано, какая вы-

числительная техника и программное обеспечение понадобятся при разработке схем в виде ПЛУ, а также их место во всем этом процессе. Рассмотрен специальный язык высокого уровня, используемый для описания подобных элементов. И, как результат, приводится пример реализации простой комбинационной логической схемы.

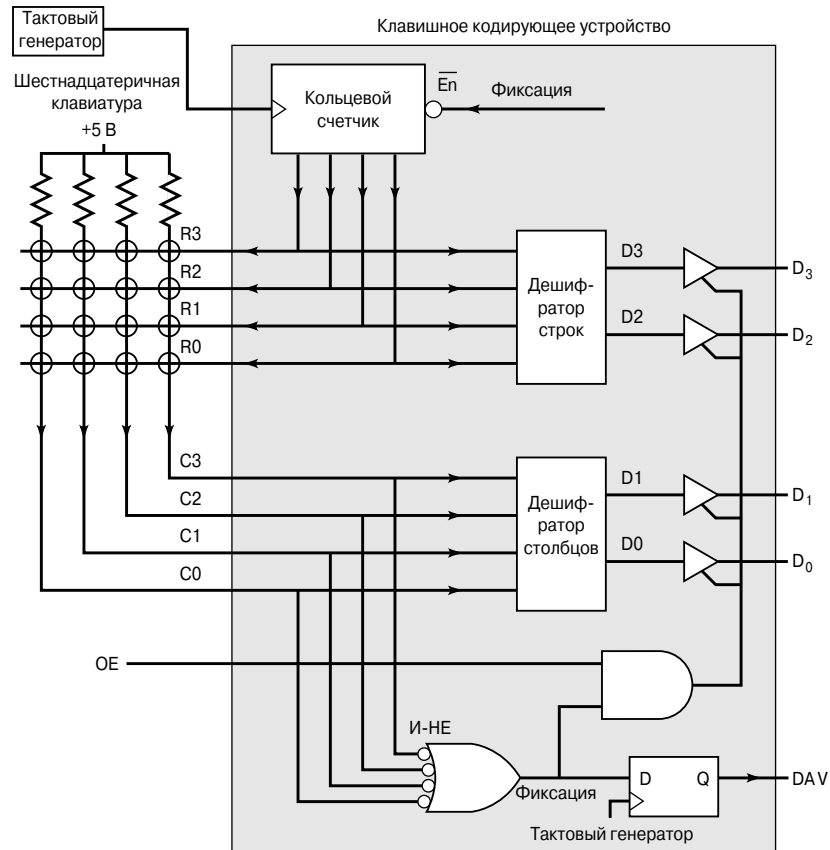


Рис. Р.2. Схема клавишного кодирующего устройства, показанного на рис. 12.25

- **Глава 5.** Логические схемы с обратной связью, включая сдвиговые регистры и D-защелки, созданные на основе ПЛУ. Опираясь на существующее в вышеупомянутом языке описания определение перехода между логическими состояниями, простой счетчик реализован в виде программируемого устройства.
- **Глава 6.** Появился новый раздел, посвященный описанию четырехбитового сумматора на основе ПЛУ. Наряду с отдельными (индексированными) переменными, для логического объединения четырехбитовых массивов информации в язык описания введено представление о наборе данных.
- **Глава 7.** а) Убран материал по устаревшей интегральной схеме 74178 больше места уделено ИС 74165, 74174; б) наряду с буферизацией выходов ПЛУ, описаны еще два метода задания последовательности состояний счетчика (конечный автомат).

- **Глава 8.** Развитие технологии вынудило существенно изменить тематику этой главы. Добавлена информация о корпусах с матричным расположением шаровых выводов. Все примеры и технические характеристики приводятся только для серии усовершенствованных маломощных интегральных схем серии ТТЛ с диодами Шоттки, тогда как параметры основной схемы описаны при помощи более понятного стандарта ТТЛ. Также объединены в один раздел технологии МОП и КМОП, с акцентом на КМОП-структурах как наиболее популярных на сегодняшний день. При этом вся информация о МОП-структурах с р- и n-каналами сводится к их текущему промышленному применению. Усовершенствован материал по ЭСЛ. Также обновлено содержание раздела о низковольтных технологиях. Чтобы исключить избыточные сведения, описания схем со свободным коллектором и свободным стоком были объединены; в лучшем виде представлена трехуровневая логика. Линии передачи и необходимость их оконечной нагрузки рассмотрены вкратце, наряду с ними описана серия устройств сопряжения для высокоскоростных шин.
- **Глава 9.** Здесь рассматриваются цветные жидкокристаллические дисплеи и технология изготовления экранов ноутбуков. Раздел о газоразрядных дисплеях и два раздела стандартных обозначений IEEE из книги убраны. Также показана возможность описания ПЛУ с помощью метода таблиц истинности. Действие стандартных функций средних интегральных схем получено на основе программируемых логических устройств.
- **Глава 10.** Расширен раздел, посвященный дискретизации аналоговых сигналов, теореме Найквиста и наложению спектров. Описание возможностей применения АЦП и ЦАП в быстро развивающейся области цифровой электроники дополнено поверхностным ознакомлением с цифровым сигнальным процессором.
- **Глава 11.** Весь материал по программируемым устройствам был либо отредактирован, либо перенесен в другие главы, большей частью в главу 12. Рассмотрено еще больше понятий и терминов, которые часто встречаются в литературе компьютерного направления (например, момент переходного состояния в технологии динамических ОЗУ или понятие времени ожидания (задержки) и как оно влияет на скорость выполнения операций, описание кэшей первого и второго уровней, которые имеются у всех современных компьютеров). Поскольку кольцевые буферы широко используются в системах ЦОС, они будут представлены в виде модулей памяти.
- **Глава 12.** Теперь эта глава начинается с обзора внутренней архитектуры элементарного ПЛУ. Материал главы 11 седьмого издания был модифицирован и объединен с материалом главы 12. Приводится пример использования популярной схемы GAL 22V10 в качестве сумматора. Также показано, как создаются имеющие большое практическое значение схемы универсального задающего устройства для шагового двигателя и клавишного кодирующего устройства с использованием только одного ПЛУ. Появилась информация о других языках описания аппаратных средств, о концепции построения более совершенных вентильных матриц, программируемых пользователем.
- **Приложение А.** Материал по микропроцессорной технике (глава 13 в предыдущих изданиях) носил характер поверхностного введения в этот достаточно сложный и очень важный предмет, поскольку в большинстве учебных программ на него выделяется отдельный курс. Поэтому мы вынесли эту тему в виде приложения, чтобы впоследствии убрать ее вообще. Читатели могут высказать свое мнение по этому поводу на Web-узле нашей книги <http://www.prenhall.com/tocci>.

Что осталось из прошлых изданий?

Все характерные особенности изложения материала в предыдущих изданиях, завоевавших огромную популярность у читателей, мы сохранили и здесь. Например, подход к описанию основных логических операций и логических элементов при помощи блок-схем этих элементов, не вдаваясь в детали их внутреннего строения, облегчает понимание материала на ранних этапах изучения книги. Или же рассмотрение основных электротехнических характеристик интегральных схем только после полного усвоения принципов бинарной логики. Глава 8 знакомит читателя с внутренней архитектурой ИС. В итоге он может интерпретировать значения на входах и выходе логического модуля и, исходя из этого, предложить возможную схему его строения.

Описание каждой новой темы или устройства состоит из следующих этапов: рассмотрение принципа действия; изучение примеров и возможностей применения, часто с использованием реально существующих ИС; контрольные вопросы по материалу каждого раздела; практические упражнения ко всей главе, находящиеся в ее конце. Отметим, что в книге представлены упражнения различных степеней сложности, причем они ориентированы не на обычное заучивание основных принципов, приведенных в главе, а требуют их понимания и умения использовать в разных ситуациях. В результате студент обретает уверенность в собственных силах и углубляет знания по данной теме.

Сведения о стандарте IEEE/ANSI для обозначений логических элементов обсуждаются отдельно и практически не влияют на ход изложения. Поэтому при желании их можно убрать полностью или частично без потерь для содержания. Информация о поиске неисправностей в логических схемах представлена с 4 по 11 главу. Здесь описаны всевозможные принципы и технологии, детально рассмотрены отдельные случаи, представлены 25 примеров поиска возникших неисправностей и 60 упражнений на эту тему. Однако для получения хороших практических навыков, необходимых для устранения неполадок в электронных схемах, без лабораторного практикума на макетах не обойтись.

В восьмом издании собрано более 200 примеров, около 400 вопросов и более 450 упражнений. В некоторых из упражнений (помещенных в конце каждой главы) представлены типичные микрокомпьютерные системы с использованием логических устройств, описанных ранее в соответствующей главе.

С помощью алфавитного указателя читатель сможет быстро найти информацию по любой ИС, которая встречалась или на которую были ссылки в тексте. Также вместе собраны таблицы с наиболее часто встречающимися теоремами булевой алгебры, краткое резюме основных логических элементов, таблицы истинности для триггеров, что очень полезно при решении задач или работе в лаборатории.

Толковый словарь содержит краткое описание всех терминов, выделенных в тексте жирным шрифтом.

Дополнительные средства

Книге сопутствует основательное дополнение, содержащее много составных частей. Каждая из них имеет определенное назначение и может использоваться независимо или в совокупности с остальными.

К изданию бесплатно прилагается компакт-диск, который содержит:

- **полный перечень технических спецификаций интегральных схем компании Texas Instruments, Inc.**, включая все серии ТТЛ, КМОП, а также спецификации шинных интерфейсов;
- **принципиальные схемы (часть из которых вошла в книгу), представленные в формате файлов двух программ Electronics Workbench™ и CircuitMaker®.** Студенты, имеющие доступ к первой из них, могут спокойно работать с этими файлами, при подготовке к лабораторным занятиям. О том, как получить пользова-

тельную версию программы, можно узнать на сайте компании Electronics Workbench — www.electronicsworkbench.com;

- **демонстрационная версия компилятора языка CUPL — PAL EXPERT** от компании Logical Devices, Inc. Лицензионный вариант этого мощного программного продукта читатели книги могут приобрести со скидкой, указав при заказе регистрационный номер #PreH5P1-2000.

Для студентов

- **Пакет программ StudyWizard Tutorial Software.** Студенты смогут лучше разобраться в материале, отвечая на вопросы, а также проверить знание терминологии при помощи этой программы. К сожалению, данный пакет не идет в комплекте с книгой.
- **Руководство по лабораторному практикуму: моделирование и разработка** Грегори Мосса (Gregory Moss). В заданиях, связанных с программируемой логикой, используется программное обеспечение CUPL. Эта версия содержит новые макеты и модели, изменения, касающиеся ПЛИУ согласно изменениям в тексте книги, а также несколько новых рисунков. (ISBN 0-13-086588-5)
- **Руководство по лабораторному практикуму: поиск и устранение неисправностей**, предложенное Джимом деЛохом (Jim DeLoach) и Фрэнком Амбросио (Frank Ambrosio), включает более 40 экспериментальных примеров нахождения, анализа и ликвидации неполадок в электронных схемах. (ISBN 0-13-089703-5)
- **Настольный справочник студента**, составленный Фрэнком Амбросио, способствует закреплению знаний по всем темам. Старое издание изменилось в соответствии с изменениями в тексте самой книги, и сейчас содержит полностью обновленные схемы. (ISBN 0-13-085639-8)
- **Web-узел, посвященный этой книге (www.prenhall.com/tocci).** Здесь открыта для студентов бесплатная дистанционная система обучения, воспользовавшись которой можно проверить понимание ключевых моментов по отдельным темам.
- **Web-узел, посвященный электронике (www.prenhall.com/electronics).** Включает дополнительные задачи поиска и устранения неисправностей, ссылки на Web-ресурсы промышленных предприятий, интервью со специалистом в области электроники и многое другое.

Для преподавателей

- **Web-узел, посвященный этой книге (www.prenhall.com/tocci).** Преподаватель может разместить здесь свой конспект лекций, воспользовавшись нашей программой-построителем Syllabus Builder. Это хороший способ для проведения занятий в режиме реального времени или самостоятельного изучения.
- **Web-узел, посвященный электронике (www.prenhall.com/electronics).** Здесь находится электронный вариант журнала *Prentice Hall Electronics Technology Journal*, а также всевозможные дополнения к тексту книги, помещенные сюда для упрощения доступа. Обратитесь в наше территориальное представительство с просьбой предоставить Вам *имя пользователя и код доступа*.
- **Поддержка сетевых курсов.** Если, согласно Вашему учебному плану, курс цифровой электроники выносится на дистанционное обучение, обратитесь в наше представительство за списком программных решений.
- **Руководство преподавателя** содержит последовательно изложенные решения всех упражнений, которые встречаются в тексте. (ISBN 0-13-085635-5)
- **Сборник ответов к лабораторным работам** включает в себя все результаты двух лабораторных практикумов. (ISBN 0-13-085637-1)

- **Компакт-диск**, содержащий все рисунки из текста, оформленные в виде слайдов программы **PowerPoint**. 150 слайдов дополнительно включают пояснения к этим рисункам. (ISBN 0-13-089704-3)
- **Тестовые задания**. Это сборник из сотен вопросов, которые можно использовать в качестве тестов и экзаменов. (ISBN 0-13-085636-3)
- **PH Test Manager** — это компьютеризованная версия предыдущего пункта (для платформы Windows). Представлена в виде компакт-диска, позволяет редактировать вопросы и включать в них графические объекты. Имеет сложную программу графического вывода. (ISBN 0-13-085641-X)

Благодарности

Мы искренне признательны всем, кто рецензировал седьмое издание и заполнял обширную анкету: Майклу Г. Истмэну (Michael G. Eastman) из Рочестерского технологического института; доктору Уолтеру Э. Тэйну (Walter E. Thain) из Южного государственного политехнического университета; Майклу Э. Клеммеру и Джону Данну (Michael E. Clemmer, John Dunn) из технического института в городе Ноксвилл; а также Курту Нэлли из Остинского колледжа. Их критика, комментарии и рекомендации сыграли неоценимую роль при окончательном формировании восьмого издания.

Также выражаем глубокую благодарность нашим коллегам: профессору Фрэнку Амбросио из колледжа Монро за основательную работу над каталогами, книгами *Руководство Преподавателя* и *Настольный Справочник Студента*; профессору Грегори Моссу из университета Пердью за многочисленные советы относительно содержания отдельных тем и в особенности раздела современной программируемой логики; профессору Энтони Окстоби (Anthony Oxtoby) из того же университета за технический обзор тем, связанных с обработкой цифровых сигналов. Мы высоко ценим помощь, оказанную со стороны Дэвида Мота (David Mot) из компании Logical Devices, Inc., любезно предложившего специальную оценочную версию программы CUPL по нашей просьбе, а также Майка Гастингса (Mike Hastings) из компании Texas Instruments, Inc., предоставившего технические характеристики логических схем.

Проект такой величины требует внимательного, профессионального редактирования, и здесь нам на выручку снова пришло издательство Prentice Hall. Мы благодарим за помощь главного редактора Скотта Самбуччи (Scott Sambucci), его первого помощника Кэйти Брэдфорд (Katie Bradford), производственного редактора Стива Робба (Steve Robb) и Алекса Вульфа (Alex Wolf) и редактора печати Брета Воркмана (Bret Workman).

И наконец, хотим сказать огромное спасибо нашим женам и детям за понимание и поддержку.

Рональд Дж. Точчи (Ronald J. Tocci)
Нил С. Видмер (Neal S. Widmer)

Web-узел, посвященный этой книге

Создание Web-узла для этой книги

Страница издательства Prentice Hall: виртуальная среда обучения

Технология сейчас развивается очень большими темпами, поэтому за изменениями нужно постоянно следить. С этой целью издательство Prentice Hall и создало сетевую среду обучения для студентов и преподавателей — сопутствующий нашей книге Web-узел.

Его назначение состоит в том, чтобы более полно, с учетом последних достижений науки и техники раскрыть тематику отдельных глав. Особое внимание уделено информации, имеющейся на Web-узлах такого же направления, что обеспечивает читателей солидным запасом полезных ссылок. На страницах Web-узла собраны:

Для преподавателя

Программа **Syllabus Manager™** позволяет разместить конспект лекций в сети.

- **Syllabus Manager™** поможет шаг за шагом создать сетевой вариант курса, модифицировать его, разместить ссылки на нашу страницу, а также на другие ресурсы в Internet. Чтобы это сделать, не обязательно знать язык HTML.
- Материал доступен студентам на протяжении всего периода обучения. Все, что им будет нужно знать — Internet-адрес нашей страницы и пароль для доступа к конспекту, который укажете Вы.
- Если курс лекций уже размещен при помощи программы **Syllabus Manager™**, студенты смогут войти в него из любой точки нашего Web-узла.
- Щелкнув левой кнопкой мыши на текущей дате, студент увидит список пунктов сегодняшнего задания. С целью экономии времени каждый из пунктов напрямую связан с конкретным разделом в конспекте лекций.
- Чтобы добавить задание, укажите с помощью мыши желаемые сроки его выполнения, название, инструкции, а также будет оно повторяться или нет.
- Гиперссылки создаются очень просто. Чтобы создать гиперссылку, нужно вписать необходимый URL в соответствующую строку. Это автоматически отобразится в тексте конспекта.
- Завершенный вариант курса лекций размещается на наших серверах. Обновлять информацию можно с любого компьютера, подключенного к Internet. Все изменения, внесенные в конспект, станут доступны студентам при следующем посещении.

Для студента

- В резюме глав выделены все ключевые понятия, встречающиеся в тексте книги.

- **Система интерактивной проверки знаний** дополнительно содержит небольшие советы к заданиям и автоматически выставляет оценку. В нее входят вопросы в виде тестов либо вопросы, требующие ответа “да” или “нет”, есть задания на сравнение или такие, где необходимо представить развернутый ответ.

После того как Вы закончите выполнение заданий, специальная программа оповещения результатов **Results Reporter** проанализирует работу, графически отобразит количество правильных и неправильных ответов и даст полную раскладку всех вопросов. Студенты могут отправить результаты проверки на любой из четырех адресов электронной почты — преподавателю, его ассистенту, кому-то из сокурсников.

- **Доска объявлений** позволяет размещать свои вопросы и давать ответы или комментарии на вопросы других.
- **Форум** обеспечивает диалог в реальном времени с пользователем нашего Web-узла, который может находиться где угодно в пределах страны. Это отличная возможность для проведения всякого рода обсуждений и семинаров.

Чтобы воспользоваться всеми этими возможностями, нужно просто посетить Web-узел книги *Цифровые системы: принципы и возможные применения* по адресу www.prenhall.com/tocci