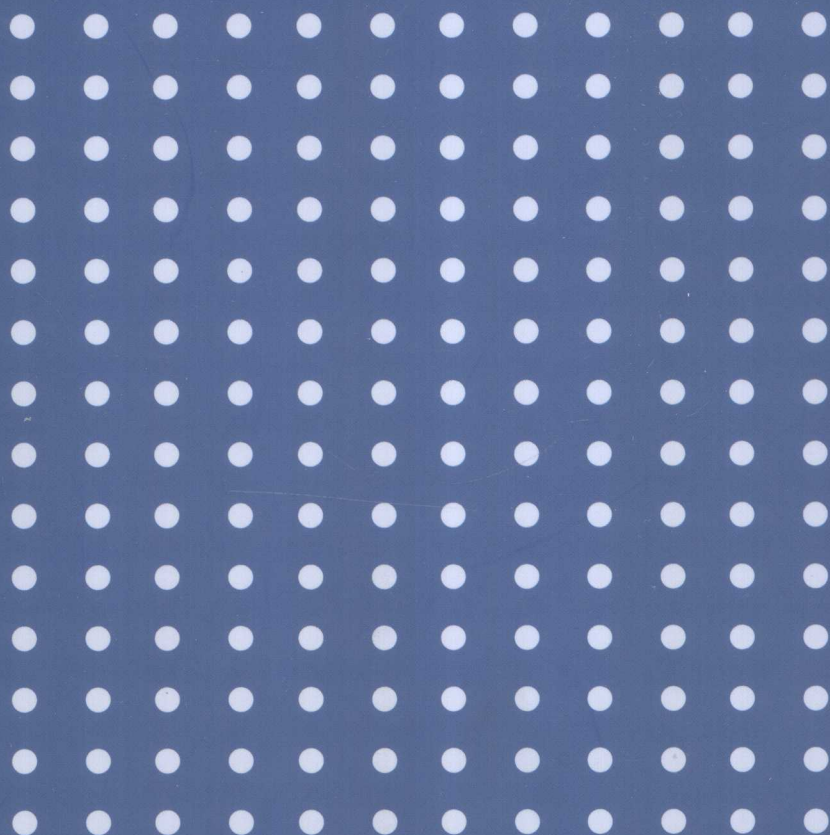


重点大学计算机专业系列教材

# 计算机硬件技术基础 实验教程

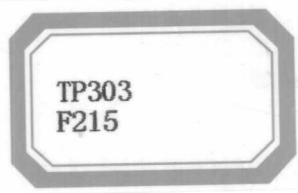
方恺晴 主编

张洪杰 刘三一 副主编



清华大学出版社

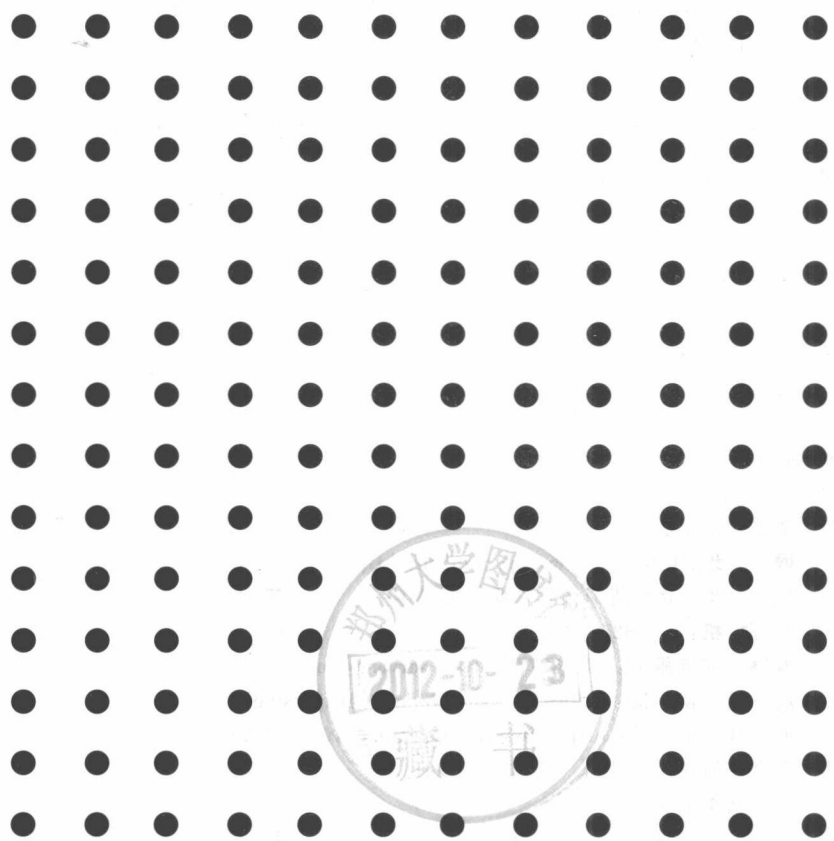




重点大学计算机专业系列教材

# 计算机硬件技术基础 实验教程

方恺晴 主编  
张洪杰 刘三一 副主编



清华大学出版社  
北京

TP303  
F215

## 内 容 简 介

本书是大学信息类专业硬件技术基础实验教材,内容包括教材的编写背景、硬件技术基础系列实验间关系和教学实施方案;基础电路实验、实习、常用电子仪器与仪表的使用;从自制数字系统设计实验平台以及相关软件的知识入手,全面介绍 FPGA 开发与应用技术(硬件逻辑关系的 VHDL 描述、逻辑分析、软硬件调试、性能测试等);计算机组成的逻辑设计、体系结构、指令和复杂数字系统设计;基于 PFGA 的 USB 通信实例等。

本书由浅入深地设计实验内容,可作为高等院校、高职院校的计算机、电子、通信等信息类专业实践环节的硬件技术基础实验教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机硬件技术基础实验教程/方恺晴主编. —北京:清华大学出版社,2012.3  
(重点大学计算机专业系列教材)

ISBN 978-7-302-27613-5

I. ①计… II. ①方… III. ①硬件—高等学校—教材 IV. ①TP303

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 271230 号

责任编辑:索 梅 赵晓宁

封面设计:常雪影

责任校对:梁 毅

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京市清华园胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:20.5

字 数:509 千字

版 次:2012 年 3 月第 1 版

印 次:2012 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:32.00 元

## 出版说明

随着国家信息化步伐的加快和高等教育规模的扩大,社会对计算机专业人才的需求不仅体现在数量的增加上,而且体现在质量要求的提高上,培养具有研究和实践能力的高层次的计算机专业人才已成为许多重点大学计算机专业教育的主要目标。目前,我国共有 16 个国家重点学科、20 个博士点一级学科、28 个博士点二级学科集中在教育部部属重点大学,这些高校在计算机教学和科研方面具有一定优势,并且大多以国际著名大学计算机教育为参照系,具有系统完善的教学课程体系、教学实验体系、教学质量保证体系和人才培养评估体系等综合体系,形成了培养一流人才的教学和科研环境。

重点大学计算机学科的教学与科研氛围是培养一流计算机人才的基础,其中专业教材的使用和建设则是这种氛围的重要组成部分,一批具有学科方向特色优势的计算机专业教材作为各重点大学的重点建设项目成果得到肯定。为了展示和发扬各重点大学在计算机专业教育上的优势,特别是专业教材建设上的优势,同时配合各重点大学的计算机学科建设和专业课程教学需要,在教育部相关教学指导委员会专家的建议和各重点大学的大力支持下,清华大学出版社规划并出版本系列教材。本系列教材的建设旨在“汇聚学科精英、引领学科建设、培育专业英才”,同时以教材示范各重点大学的优秀教学理念、教学方法、教学手段和教学内容等。

本系列教材在规划过程中体现了如下一些基本组织原则和特点。

(1) 面向学科发展的前沿,适应当前社会对计算机专业高级人才的培养需求。教材内容以基本理论为基础,反映基本理论和原理的综合应用,重视实践和应用环节。

(2) 反映教学需要,促进教学发展。教材要能适应多样化的教学需要,正确把握教学内容和课程体系的改革方向。在选择教材内容和编写体系时注意体现素质教育、创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。

(3) 实施精品战略,突出重点,保证质量。规划教材建设的重点依然是专业基础课和专业主干课;特别注意选择并安排了一部分原来基础比较好的优秀教材或讲义修订再版,逐步形成精品教材;提倡并鼓励编写体现重点大

学计算机专业教学内容和课程体系改革成果的教材。

(4) 主张一纲多本,合理配套。专业基础课和专业主干课教材要配套,同一门课程可以有多本具有不同内容特点的教材。处理好教材统一性与多样化的关系;基本教材与辅助教材以及教学参考书的关系;文字教材与软件教材的关系,实现教材系列资源配套。

(5) 依靠专家,择优落实。在制订教材规划时要依靠各课程专家在调查研究本课程教材建设现状的基础上提出规划选题。在落实主编人选时,要引入竞争机制,通过申报、评审确定主编。书稿完成后要认真实行审稿程序,确保出书质量。

繁荣教材出版事业,提高教材质量的关键是教师。建立一支高水平的以老带新的教材编写队伍才能保证教材的编写质量,希望有志于教材建设的教师能够加入到我们的编写队伍中来。

教材编委会

## 前言

计算机硬件技术基础系列实验是信息类专业配套开设的必修实验课。此类实验课能够帮助学生从物理芯片层、数字逻辑层、体系结构层了解数字系统硬件逻辑设计,有利于进一步学习计算机接口技术、嵌入式技术等高级应用,也有利于提升学生的实践能力。

1999年,在以培养具有创新精神和实践能力的高级专门人才的学院教育指导思想的指引下,以提高学生的综合能力、培养创新人才为主线,结合课程自身的特点和技术发展趋势,实验室开展了一系列的硬件技术基础实验教学改革。历经10年,探索出一条适合信息专业学生加强综合能力的硬件实验教学链条式教育培养模式,获得了广大教师和学生的认可。借此我们把多年的教学研究总结归纳并重新整合,编写出实验教材与广大教师和学生分享。

全书共5章,简单介绍如下:

第1章主要从硬件技术基础实验教学中存在的问题及解决思路入手,阐述了硬件实验教学模式、实验设备研发、实验内容系统化设定,实验教学方法研究,综合考核与测试制度的制定等方面的教学实施方案。

第2章分3个层次介绍了基础电路的相关实验及综合设计内容,让学生掌握物理层面的相关知识(元器件、集成电路的认识、基本原理、性能测试、性能分析),掌握常用电子仪器与仪表的使用技能。

第3章结合介绍自制硬件数字系统设计平台以及相关软件的使用,将FPGA开发与应用的相关知识循序渐进地融合到实验项目以及综合设计项目中,使学生初步掌握逻辑层面的相关知识(数字部件、组件的认识、基本原理、性能测试、性能分析),使其初步学会数字系统设计的方法和初步的FPGA开发与应用技术:用硬件描述语言VHDL描述硬件内部的逻辑关系;数字系统性能测试与逻辑分析技能;软件工具使用中的技巧,软硬件调试的方法与技巧等。

第4章以CPU为典型案例,分7大部分(总线、运算器、存储器、数据通路、时序电路、微程序控制器、模型机与程序运行)设定实验内容,且每个模块又分别设计了几个小实验,并可依据原理框图用图形法或硬件描述语言等方法实现,让学生掌握复杂数字系统的结构原理、设计原理、性能测试、性能分析,

进一步掌握 FPGA 开发与应用技术。

第 5 章通过展示自制数字系统实验箱的通信功能,介绍基于 FT245BM 和 FPGA 的 USB 接口设计实例。

该教材是我们 11 年改革的归纳总结,现有的课程内容安排、教学组织、教学方法以及考核模式极大地调动了学生对硬件知识以及硬件实验的学习积极性,实验内容的精心设计解决了硬件实验课程教学缺乏系统性的问题,同时,教师在实验教学过程中应用摸索总结的多种适用的实验教学方法,结合综合考核与测试制度,通过链条式教育,强化学生做中学并掌握相关知识与技能,更深层次、更大范围地激发和挖掘学生的潜能,培养具有创新意识、创造性思维和创新能力强的人才。

在本书的编写及实验教学中,湖南大学信息科学与工程学院的李仁发教授、徐成教授及信息技术实验室的老师给予了极大的帮助和支持。李仁发教授任院长期间大力支持硬件技术实验教学改革。徐成教授设计了 DDA 系列数字系统实验平台并提供了实验平台资料。刘三一老师设计了 HBE 硬件基础电路实验箱并提供了实验平台资料。在审稿过程中清华大学出版社的索梅、赵晓宁老师提出了宝贵意见和建议。在此,编者对他们表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中内容难免有疏忽、不恰当甚至错误之处,恳请各位老师和同学指正, E-mail: fangkq601@sina.com。

方恺晴

2011 年 4 月

## 目录

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第 1 章 绪论            | 1   |
| 1.1 教材编写背景          | 1   |
| 1.2 实施方案            | 1   |
| 第 2 章 基础电路篇         | 12  |
| 2.1 常用元器件的识别与简单测试   | 12  |
| 2.2 常用电子仪器的正确使用     | 16  |
| 2.3 集成门电路功能测试       | 19  |
| 2.4 集电极开路门与三态输出门的应用 | 24  |
| 2.5 集成与非门电路参数的测试    | 27  |
| 2.6 编码器、译码器及数码管显示实验 | 31  |
| 2.7 双稳态触发器          | 37  |
| 2.8 计数器及寄存器实验       | 42  |
| 2.9 555 集成定时器及其应用   | 48  |
| 2.10 晶体管共射极单管放大器    | 52  |
| 2.11 集成运算放大器的应用     | 55  |
| 2.12 AD/DA 转换器实验    | 60  |
| 2.13 程控脉冲信号发生器设计    | 64  |
| 2.14 直流稳压电源         | 69  |
| 2.15 电路仿真设计         | 72  |
| 2.16 电路设计与制作实习      | 79  |
| 第 3 章 数字逻辑篇         | 86  |
| 3.1 软硬件平台介绍         | 86  |
| 3.2 软硬件平台的使用        | 103 |
| 3.3 常用组合逻辑电路设计      | 121 |
| 3.4 触发器及应用          | 139 |

|                                        |     |
|----------------------------------------|-----|
| 3.5 移位寄存器 .....                        | 147 |
| 3.6 计数器 .....                          | 156 |
| 3.7 序列检测器 .....                        | 171 |
| 3.8 交通灯控制器 .....                       | 179 |
| 3.9 出租车计费器 .....                       | 181 |
| 3.10 简易电子琴 .....                       | 183 |
| 3.11 DDS 波形发生器 .....                   | 190 |
| <b>第 4 章 计算机组成原理篇</b> .....            | 194 |
| 4.1 总线数据传输实验 .....                     | 194 |
| 4.2 运算器实验 .....                        | 199 |
| 4.3 存储器实验 .....                        | 207 |
| 4.4 数据通路实验 .....                       | 215 |
| 4.5 时序电路实验 .....                       | 219 |
| 4.6 微程序控制器实验 .....                     | 223 |
| 4.7 模型机组成与程序运行实验 .....                 | 230 |
| <b>第 5 章 USB 通信篇</b> .....             | 238 |
| 5.1 USB 通信模块演示设计 .....                 | 238 |
| 5.2 CRC 算法的 FPGA 实现 .....              | 246 |
| <b>附录 A 常用电子仪器仪表使用简介</b> .....         | 253 |
| A1 数字式万用表的使用方法 .....                   | 253 |
| A2 示波器的使用方法 .....                      | 255 |
| A3 EE1641D 函数信号发生器 .....               | 261 |
| A4 自制 HBE 硬件技术基础电路实验箱 .....            | 263 |
| <b>附录 B 电路仿真软件 Multisim 操作简介</b> ..... | 266 |
| B1 Multisim 基本操作 .....                 | 266 |
| B2 Multisim 菜单栏 .....                  | 271 |
| B3 Multisim 元件 .....                   | 275 |
| B4 Multisim 仪器仪表的使用 .....              | 277 |
| B5 Multisim 电路分析方法 .....               | 286 |
| <b>附录 C 简单 CPU 模拟器</b> .....           | 292 |
| <b>附录 D 波形 MIF 生成器</b> .....           | 297 |
| <b>附录 E 基本逻辑元件库</b> .....              | 300 |
| E1 缓冲器 .....                           | 300 |

|                           |                    |            |
|---------------------------|--------------------|------------|
| E2                        | 触发器及锁存器 .....      | 300        |
| E3                        | 输入输出单元 .....       | 300        |
| E4                        | 逻辑基元 .....         | 301        |
| E5                        | 其他基元 .....         | 301        |
| <b>附录 F 旧式功能电路库 .....</b> |                    | <b>302</b> |
| F1                        | 加法器 .....          | 302        |
| F2                        | 算术逻辑单元 .....       | 302        |
| F3                        | 缓冲器 .....          | 302        |
| F4                        | 比较器 .....          | 303        |
| F5                        | 转换器 .....          | 303        |
| F6                        | 计数器 .....          | 303        |
| F7                        | 译码器 .....          | 305        |
| F8                        | 数字滤波器 .....        | 305        |
| F9                        | 误码检测核定电路 .....     | 305        |
| F10                       | 编码器 .....          | 306        |
| F11                       | 分频器 .....          | 306        |
| F12                       | 锁存器 .....          | 306        |
| F13                       | 乘法器 .....          | 307        |
| F14                       | 多路选择器 .....        | 307        |
| F15                       | 同位产生器/检查器 .....    | 307        |
| F16                       | 比率乘法器 .....        | 308        |
| F17                       | 寄存器 .....          | 308        |
| F18                       | 移位寄存器 .....        | 309        |
| F19                       | 存储寄存器 .....        | 310        |
| F20                       | 小规模集成电路 .....      | 310        |
| F21                       | 真值/补码 I/O 器件 ..... | 311        |
| <b>附录 G 参数式元件库 .....</b>  |                    | <b>312</b> |
| G1                        | 门 .....            | 312        |
| G2                        | 算术组件 .....         | 312        |
| G3                        | 存储组件 .....         | 312        |
| G4                        | 其他组件 .....         | 313        |
| <b>参考文献 .....</b>         |                    | <b>314</b> |

# 绪 论

## 第 1 章

### 1.1 教材编写背景

数字逻辑、计算机组成原理是信息类专业必开的硬件核心课程。计算机硬件技术基础系列实验是配套开设的必修实验课,长期以来,硬件实验教学方面存在一些问题:硬件实验教学与创新人才培养模式不匹配;硬件技术更新快,建设资金投入大;教学方案方法性、系统性、规范性不足;学生普遍重软轻硬。基于上述问题我们以提高学生的综合能力、培养创新人才为主线,结合课程自身的特点和技术发展趋势,从实际出发,开展硬件技术基础实验教学改革。改革历经 10 年,现已得到老师们和学生们的认可,我们把多年的教学研究总结归纳并重新整合,编写了实验教材与广大教师和学生分享。

### 1.2 实施方案

笔者依据硬件技术基础实验教学研究的总构架来完成本教材编写,如图 1-2-1 所示。围绕教学研究总框架,特提出以下 5 条解决措施。

#### 1.2.1 构建硬件实验教学链条式教育的创新人才培养模式

培养具有创新精神和实践能力的高级专门人才是高等教育的任务。在创新人才培养的众多途径中,加强对实践性教育环节和学生动手能力的培养是最基本的途径。计算机硬件系列课程都是实践性很强的课程,学生必须具备足够的动手实践能力才能满足社会的需要。因此,硬件技术基础课程教学宜采取“理论教学的‘精讲多练’(课程实验)→实验教学的‘做中学’(实验课程)→创新综合(工程设计)训练”的链条式教学模式。

课程实验是利用仿真软件培养学生基本专业软件应用能力、搭建基本概念模型的能力,从而达到理解基本概念,促进理论学习的目的。实验课程则

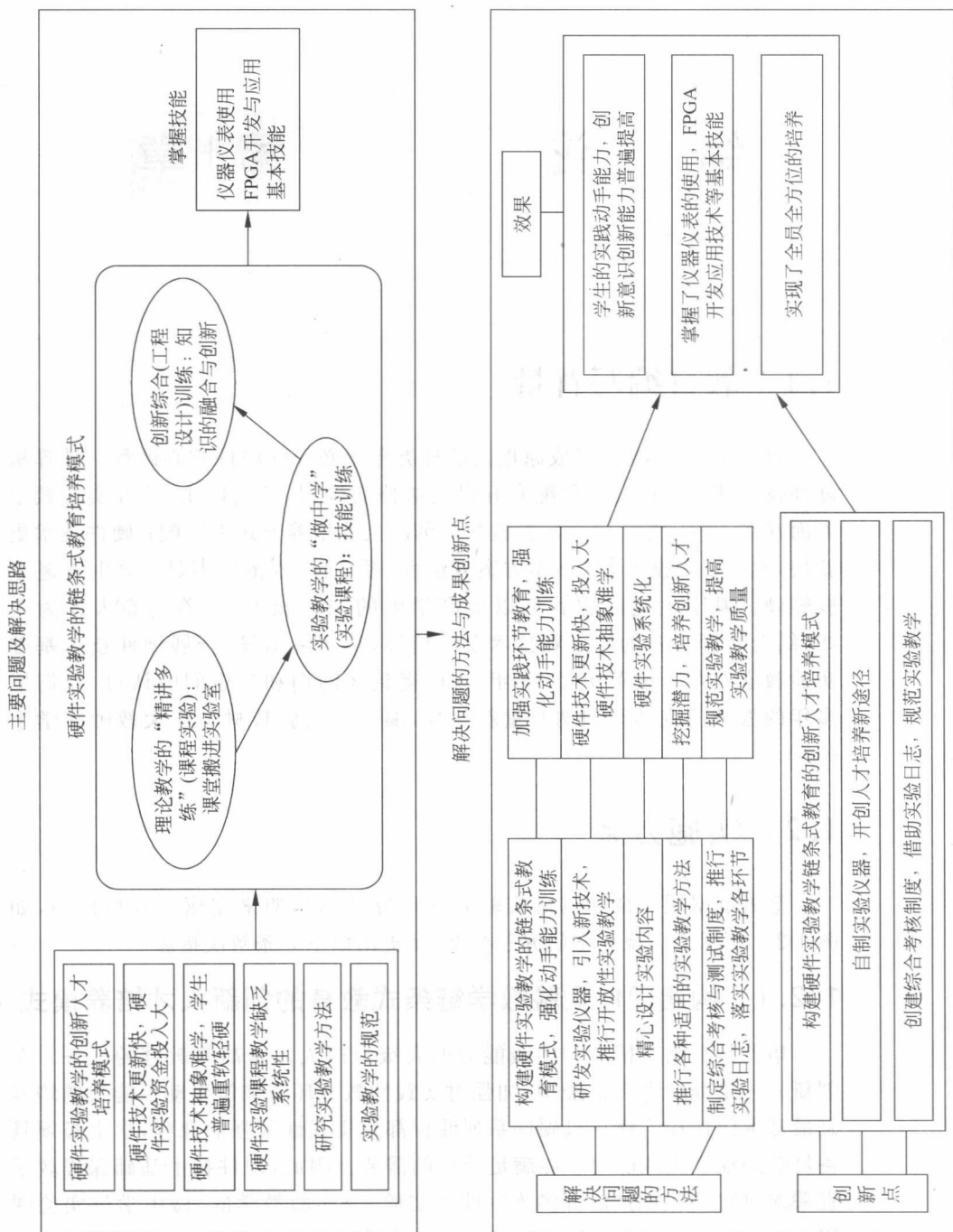


图 1-2-1 硬件技术基础实验教学研究总架构

以技能训练、仪器使用为主要目标,培养学生的综合实验技能。工程设计训练是利用最新的平台和工具进行实际工程设计训练,注重专业知识的融合,诱导并培养创新意识。链条式教学模式中的“做中学”是指在实践中摸索学习进而启发创造思维的过程。该模式的应用促进了学生主动学习,通过实践训练将知识融会贯通,提高了自身工程素质和能力。该模式采用由单项到综合,由基础到系统的框架结构,具有鲜明的层次性,实现了基础、提高与创新的教学目标,使实践教学递进化推进,培养了创新思维。

### 1.2.2 自制实验仪器,开创人才培养新途径

计算机硬件是个复杂的数字系统,随着电子系统日益数字化和复杂化,电子设计自动化(Electronic Design Automation, EDA)已逐步取代了传统电路设计方法。为适应教学需求,我们在传统实验平台基础上根据多年的实验教学经验,利用教师的科研成果,研发制作了一系列的硬件实验平台(相应配套实验、实验指导书、实验教材),运用于基础电路实验、数字逻辑实验、计算机组成原理实验等硬件实验教学中。

自制实验仪器不但解决了经费紧张和硬件技术更新快的问题,而且具有低功耗、接口丰富、系统构架良好、适合电子信息类多项课程实验要求等特点。新硬件实验仪器既可帮助学生直观地接触数字系统的硬件芯片,又充分发挥了计算机辅助软件的硬件快速检测和复杂逻辑处理的优点。

实验教学过程中,实验室实行了灵活的开放管理制度。实验室全天开放,除课表排定的实验课程时间外,学生可在课余时间随时到实验室进行自主性实验和设计,同时学生还可将实验箱借出,以便在宿舍进行实验。实验室有自己的网站,丰富的教学资源,便捷的沟通渠道,面向老师和学生提供多功能交互平台,满足了教学、管理、自由开放运作的需求。

新仪器、新技术、优良的开放性实验条件使得学生实验的积极性普遍增强,学生积极参与教师组织的实验项目开发以及大学生创新训练计划(Student Innovation Training Program, SIT)的活动,教师将学生所做的这些创新开发成果反过来应用于实践教学,彻底扭转了硬件技术抽象难学,学生重软轻硬的局面,大大促进了教学改革。

### 1.2.3 依托自制实验仪器,精心设计实验内容,实现实验教学系统化

计算机硬件是一个庞大的复杂数字系统。目前硬件实验教学中各实验项目之间、各课程之间缺乏衔接,导致学生的知识体系不系统,结构不健全。我们经过多年的探索,依托自制实验仪器,构建硬件实验教学链条式教育的创新人才培养模式,理顺系列基础实验训练之间的关系(见图1-2-2),精心设计实验内容,突出3个层次:

- ① 物理层: 元器件、集成电路的认识、基本原理、性能测试、性能分析。
- ② 逻辑层: 数字部件、组件的认识、基本原理、性能测试、性能分析。
- ③ 系统层: 复杂数字系统的结构原理、设计原理、性能测试、性能分析。

实验内容的选择以连贯性、系统性、整体性、综合性和创新性为原则,在强调基本测试技能和仪器仪表使用技能的同时加入大量现代电子设计自动化辅助设计内容,让学生循序渐进地掌握常用电子仪器与仪表的使用技能;基础的FPGA(Field Programmable Gate Array)开发应用技能(数字电路与数字系统性能测试与逻辑分析、硬件描述语言运

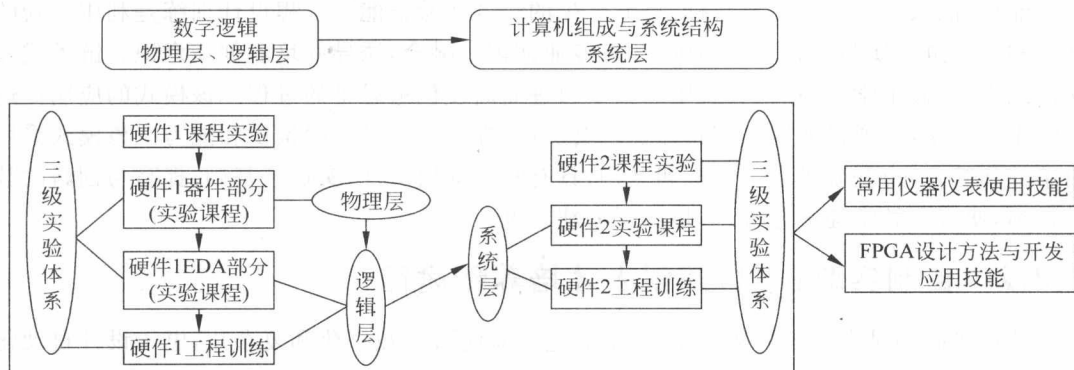


图 1-2-2 硬件技术基础实验训练之间的关系图

用和典型数字系统设计),能够运用硬件描述语言进行专用集成电路的设计,适应市场的需求。

### 1. 硬件技术基础实验 1

硬件技术基础实验 1 通过三级实验体系让学生掌握物理及逻辑层面的相关知识,掌握常用电子仪器与仪表的使用技能;初步掌握数字系统设计的方法;FPGA(Field Programmable Gate Array)开发与应用技术。项目见表 1-2-1。

表 1-2-1 硬件 1 三级体系实验内容(基础电路与逻辑设计)

| 课程              | 性质   | 目的                                                   | 项目                                                                                                 | 知识点与技能掌握                                                                                                                                             |
|-----------------|------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 数字逻辑课程实验        | 课程实验 | 通过简单验证型实验,学习平台工具软件 MaxplusII 及简单 VHDL 语言代码编写帮助理解理论知识 | 软件的基本操作;三态门、OC 门的设计与仿真;加法器、译码器与编码器、多路复用器与比较器、触发器的仿真                                                | 软件的基本操作;学习 VHDL 代码编写相关理论知识                                                                                                                           |
| 硬件实验 1 (器件实物部分) | 实验课程 | 1. 掌握基本电路的设计、测量与调试方法<br>2. 仪器仪表的熟练使用                 | 仪器仪表的使用<br>元器件识别和参数测试<br>门电路测试与应用<br>组合逻辑电路设计<br>组合逻辑电路芯片测试<br>触发器的功能测试<br>计数器和移位寄存器<br>脉冲信号发生器的设计 | 数字万用表、示波器、实验仪的使用<br>元器件参数的测量方法<br>认识门电路的参数指标<br>基电路的设计与测量<br>常用的组合逻辑芯片逻辑功能 and 设计流程<br>熟练使用示波器来观看触发器的时序图<br>常用计数器和移位寄存器逻辑功能和用法<br>基本电路设计、测量、调试技能综合运用 |

续表

| 课程                | 性质   | 目的                                                     | 项目                      | 知识点与技能掌握                                                                            |
|-------------------|------|--------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 硬件实验1<br>(EDA部分)  | 实验课程 | 1. 掌握用硬件描述语言来描述硬件内部的逻辑关系<br>2. 掌握芯片现场编程、配置来实现数字系统的设计方法 | 软硬件平台使用<br>(Quartus II) | FGPA 特性及设计流程; 开发工具 Quartus II 以及硬件平台的使用; 常用的画图技巧及注意事项                               |
|                   |      |                                                        | 组合电路设计                  | 元件定制过程; LPM 宏功能模块的工程设计; 基本元件的寄存器传输级 (Register Transfer Lever, RTL) 可综合代码; 电路设计的验证方法 |
|                   |      |                                                        | 触发器的应用                  | 基本时序电路的代码编写; 如何自制 LPM; 消抖电路的应用; 波形仿真的规范; VHDL 语言中元件例化的使用                            |
|                   |      |                                                        | 移位寄存器的设计                | 多输入信号的电路仿真技巧; LPM 元件应用; 层次设计法的使用                                                    |
|                   |      |                                                        | 计数器的设计与应用               | 数码管扫描电路的运用; LPM 元件应用; 层次设计法的使用                                                      |
|                   |      |                                                        | 序列检测器的设计                | 基于状态机的 VHDL 代码编写; 基于状态机的工程设计                                                        |
| 硬件实验1<br>(综合实习部分) | 工程训练 | 掌握数字系统设计或专用集成电路设计的方法                                   | 数字系统设计                  | VHDL 语言的编程思想与调试方法; 层次设计法在数字系统设计中的综合运用; 基于混合模块的工程设计; 各种方法的综合运用                       |

### 1) 数字逻辑课程实验——课程实验

数字逻辑课程实验以模拟、仿真或虚拟为手段,通过简单验证型实验,学习平台入门工具软件及硬件描述语言的简单代码编写,帮助理解与消化理论知识。

### 2) 硬件1实验——实验课程

#### (1) 硬件实验1(器件实物部分)。

计算机、通信、信息安全等专业的最低层技术仍是以电路为主,因此经典电路理论,实验及工程方法不能丢,保留了部分传统的实验方法和内容,使学生掌握物理层面的相关知识。要求学生掌握电路测量基本知识、测量方法、基本实验方法,具备一定的实验能力;能根据设计的电路模型实现具体电路;能独立操作和完成电路实验;能准确读取实验数据,测绘波形曲线,分析实验结果,编写整洁合格的实验报告(包括对测试结果数据的基本分析)。掌握正确熟练使用常用的电子仪器仪表和常用电器设备(万用表、示波器及交/直流信号源等);掌握基本电参数(电流、电压、频率、相位差等)的测量方法及技巧;掌握常用基础电路的原理及特性,常用电子元器件的性能和参数;了解电路的设计、安装、调试和故障排除方法。

### (2) 硬件实验 1(EDA 部分)。

配合自制 PDA 系列数字系统实验平台学习数字系统设计方法: FPGA 开发与应用技术。该部分是将一小系统设计划分为各功能模块让学生分别设计完成,模块与模块结合紧密,结合实验平台的运用,使其进一步掌握用硬件描述语言来描述硬件内部的逻辑关系;掌握数字系统性能测试与逻辑分析技能;以及软件工具使用中的技巧,软硬件调试的方法与技巧等。内容设计是将 FPGA 开发与应用的相关知识循序渐进地融合到每个实验项目中,并要求学生将这些知识点应用到相关的项目模块设计中,各模块又是多次嵌套运用。

组合电路设计:要求学生利用参数化模块库(Library Parameterized Modules,LPM)元件定制、VHDL 语言、图形等多种方法完成设计。

触发器应用:要求学生使用单脉冲信号,促使学生解决按键消抖的问题。

移位寄存器:利用该实验控制信号多的特点使其掌握仿真的规范与技巧,同时学习层次设计法。

计数器:要求学生设计的输出结果用数码管显示,这样大大增加了设计难度,数码管的显示电路需要用到前面的译码及移位寄存电路,促使其进一步掌握层次设计法。

序列检测器:要求学生采用两种方式下载到硬件平台观察结果,难度大大增强,几乎用到前面所有模块,实则相当于一个综合设计,让学生掌握基于混合模块的工程设计以及常规的调试方法。

这样的安排给了学生更大的思考和想象的空间,能够更深层次、更大范围地挖掘学生潜在的研究与创新潜力。

### 3) 硬件实验 1——工程训练

硬件实验 1 的工程训练是将前面实验中所学的 FPGA 开发设计知识综合应用,利用前面的模块实现一个特定功能(由学生结合实际生活中的应用选题)的设计。使其进一步掌握用硬件描述语言 VHDL 描述硬件内部的逻辑关系,以及对芯片现场编程、配置来实现数字系统的设计方法,同时学习如何撰写报告,并自己设计小系统的完整文档。

(1) 开题报告:研究目的(需求分析)、研究现状及发展趋势、设计的重点、难点及设计手段、设计进度、参考文献等。

(2) 设计报告:题目、摘要、关键词、目录、设计报告正文、设计总结。

(3) 设计日志:设计过程中出现的问题及解决方法记录。

## 2. 硬件技术基础实验 2

硬件技术基础实验 2 通过三级实验体系,以中央处理器(Central Processing Unit,CPU)为典型案例,让学生掌握复杂数字系统的结构原理、设计原理、性能测试、性能分析,进一步掌握 FPGA 开发与应用技术。项目见表 1-2-2。

### 1) 计算机组成课程实验——课程实验

课程实验部分围绕理论课教学,以仿真和虚拟实验为主要平台,让学生通过计算机模拟验证课堂所学的理论。

### 2) 硬件实验 2(计算机组成原理实验)——实验课程

该环节让学生通过设计、实验、调试出一台简单的教学模型机,从而掌握计算机组成部件的工作原理和复杂数字系统设计方法。让学生通过实验来学习理论知识,使其自主获取

表 1-2-2 硬件 2 三级体系实验内容(计算机组成原理)

| 课程              | 性质   | 目的                                                                                     | 项目                                                                | 知识点掌握                                                                               |
|-----------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 计算机组成原理课程实验     | 课程实验 | 通过简单验证型实验,帮助学生理解相关理论知识                                                                 | 指令、寄存器、内存单元;找出 8086/8088 指令系统所有指令的操作码的编码;简单 CPU 的模拟器;简单 CPU 的数据通路 | 汇编语言<br>指令系统<br>指令模拟执行过程<br>数据通路                                                    |
| 硬件 2(计算机组成原理实验) | 实验课程 | 让学生通过实验环节,设计、实验、调试出一台简单的教学模型机,从而掌握计算机组成部件的工作原理,建立整机概念;利用 EDA 进行 CPU 设计的方法;熟练使用 VHDL 语言 | 总线传输实验(1、2)                                                       | 总线数据传输特性、HDL 寄存器初值设定;EDA 进行电路设计和调试的基本方法                                             |
|                 |      |                                                                                        | 8 位运算器组成及复合运算实验(1、2)                                              | 算术逻辑运算推定符、LPM 元件运算单元,根据指令集设计算术逻辑单元(Arithmetic Logic Unit, ALU);用 EDA 进行电路设计和调试的基本方法 |
|                 |      |                                                                                        | 存储器实验(1、2)                                                        | LPM 元件存储器(数据总线双向、双读写端口),内存初始文件编写;读写传输;软件与硬件结合的调试方法                                  |
|                 |      |                                                                                        | 时序电路的组成与控制原理实验(1、2)                                               | 一般结构图,模块介绍;状态机思路设计,RTL 代码,波形图                                                       |
|                 |      |                                                                                        | 数据通路实验(1、2)                                                       | 单总线数据通路框图及功能说明;根据指令和时序,设计微操作(一周期内完成为原则)                                             |
|                 |      |                                                                                        | 微程序控制器实验(1、2)                                                     | 一般微控结构图,模块介绍,微指令解释执行原理与状态机编译器将 C 程序翻译出本地字节码;微程序控制器的设计方法                             |
| CPU 设计实习        | 工程训练 | 熟练运用知识进行系统设计                                                                           | 模型机设计                                                             | 书写代码、子模块集成、顶层例化<br>实验:时序模块+微处理 RTL+显示模块,电路调试的基本能力                                   |
|                 |      |                                                                                        |                                                                   | 芯片到系统的整体概念;硬件与软件的结合上处理问题的思维方式;具有初步的系统设计、实际动手能力、工程实践能力、创新思维能力和自我学习能力                 |