

高等学校计算机教育规划教材

# 数字电子 技术基础

范文兵 主编  
程 明 主审

<http://www.tup.com.cn>

清华大学出版社



TN79/165

2007

高等学校计算机教育规划教材

# 数字电子 技术基础

范文兵 主编

程 明 主审

清华大学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是依据教育部最新制定的“电子技术基础课程教学基本要求”编写的。全书共分为9章,主要内容包括逻辑代数基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、存储器和可编程逻辑器件、D/A、A/D转换器和数字系统典型应用等。每章中都有例题,每章后附有习题,以利于学生联系实际,巩固所学知识。

本书编写简明扼要,内容深入浅出,注重实际能力的培养。可以作为电子信息类专业课程教材,也可作为高等学校电子、电气、自动化、通信、计算机和其他相关的专业本科生教材,也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

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 13501256678 13801310933

## 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/范文兵主编. —北京:清华大学出版社,2007.12

(高等学校计算机教育规划教材)

ISBN 978-7-302-15450-1

I. 数… II. 范… III. 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第088999号

责任编辑:张瑞庆 李 晔

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

[c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

社总机:010-62770175

投稿咨询:010-62772015

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮购热线:010-62786544

客户服务:010-62776969

印刷者:北京季蜂印刷有限公司

装订者:三河市春园印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26

字 数:609千字

版 次:2007年12月第1版

印 次:2007年12月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:34.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:021210-01

## 编 委 会

名誉主任：陈火旺

主 任：何炎祥

副 主 任：王志英 杨宗凯 卢正鼎

委 员：(按姓氏笔画为序)

王更生 王忠勇 刘先省 刘腾红 孙俊逸

芦康俊 李仁发 李桂兰 杨健露 陈志刚

陆际光 张焕国 张彦铎 罗 可 金 海

钟 珞 贵可荣 胡金柱 徐 苏 康立山

薛锦云

丛书策划：张瑞庆 汪汉友

本书主审：程 明

---

# 序 言

# PREFACE

随着信息社会的到来,我国的高等学校计算机教育迎来了大发展时期。在计算机教育不断普及和高等教育逐步走向大众化的同时,高校在校生的数量也随之增加,就业压力随之加大。灵活应用所学的计算机知识解决各自领域的实际问题已经成为当代大学生必须具备的能力。为此,许多高等学校面向不同专业的学生开设了相关的计算机课程。

时代的进步与社会的发展对高等学校计算机教育的质量提出了更高、更新的要求。抓好计算机专业课程以及计算机公共基础课程的教学,是提高计算机教育质量的关键。现在,很多高等学校除计算机系(学院)外,其他系(学院)也纷纷开设了计算机相关课程,在校大学生也必须学习计算机基础课程。为了适应社会的需求,满足计算机教育的发展需要,培养基础宽厚、能力卓越的计算机专业人员和掌握计算机基础知识、基本技能的相关专业的复合型人才迫在眉睫。为此,在进行了大量调查研究的基础上,通过借鉴国内外最新的计算机科学与技术学科和计算机基础课程体系的研究成果,规划了这套适合计算机专业及相关专业人才培养需要的、适用于高等学校学生学习的《高等学校计算机教育规划教材》。

“教育以人为本”,计算机教育也是如此,“以人为本”的指导思想则是将“人”视为教学的主体,强调的是“教育”和“引导”,而不是“灌输”。本着这一初衷,《高等学校计算机教育规划教材》注重体系的完整性、内容的科学性和编写理念的先进性,努力反映计算机科学技术的新技术、新成果、新应用、新趋势;针对不同学生的特点,因材施教、循序渐进、突出重点、分散难点;在写作方法上注重叙述的逻辑性、系统性、适用性、可读性,力求通俗易懂、深入浅出、易于理解、便于学习。

本系列教材突出计算机科学与技术学科的特点,强调理论与实践紧密结合,注重能力和综合素质的培养,并结合实例讲解原理和方法,引导学生学会理论方法的实际运用。

本系列教材在规划时注重教材的立体配套,教学资源丰富。除主教材外,还配有电子课件、习题集与习题解答、实验上机指导等辅助教学资源。有些课程将开设教学网站,提供网上信息交互、文件下载,以方便师生的教与学。

《高等学校计算机教育规划教材》覆盖计算机公共基础课程、计算机应用技术课程和计算机专业课程。既有在多年教学经验和教学改革基础上新编著的教材，也有部分已经出版教材的更新和修订版本。这套教材由国内三十余所知名高校从事计算机教学和科研工作的一线教师、专家教授编写，并由相关领域的知名专家学者审读全部书稿，多数教材已经经受了教学实践的检验，适用于本科教学，部分教材可用于研究生学习。

我们相信通过高水平、高质量的编写和出版，这套教材不仅能够得到大家的认可和支持，也一定能打造成一套既有时代特色，又特别易教易学的高质量的系列教材，为我国计算机教材建设及计算机教学水平的提高，为计算机教育事业的发展和高素质人才的培养作出我们的贡献。

《高等学校计算机教育规划教材》编委会

# 前 言

## FOREWORD

数字电路课程是电子工程、电气工程、自动化技术、计算机等信息类专业和其他相关专业的关键技术基础课程。国家教委和电子工业部曾多次组织重点院校的专家教授们编写出版过多本统编教材,对该课程的发展起到了重要的推动作用。

随着电子科学技术的高速发展,近年来数字电路课程的教学内容有了较大变化,其中基于 EDA 技术和可编程逻辑器件的现代数字系统设计得到了广泛应用。但由于可编程逻辑器件等新型器件仍属于半导体器件,所以过去讲授的半导体器件工作原理的理论基础对这些新型器件仍然适用。同时,传统教材中的逻辑代数、逻辑门、触发器、组合电路、时序电路等基本概念、分析方法、设计方法也是使用新型器件时必备的基础理论。因此,本书的对应章节一方面延续和保持了数字电路基础内容的完整性和理论的系统性,另一方面增加了数字电路基本内容的 VHDL 语言描述,使读者能够在学习数字逻辑单元电路时逐步掌握现代数字系统设计的基础知识。

此外,本书将存储器和可编程逻辑器件合并为一章介绍,重点介绍了只读存储器、随机存储器的组成、工作原理及集成器件应用, FPLA、PAL 器件及其应用, GAL、CPLD 和 FPGA 的电路结构、工作原理和器件技术特性,并详细介绍了应用可编程逻辑器件配置和基于 EDA 工具的现代数字系统设计流程。第 8 章介绍了各种转换器结构、原理和集成器件的使用方法。第 9 章介绍了数字系统的几个典型应用,包含了传统数字系统设计实例和利用 EDA 工具的设计实例,这些典型应用举例深入浅出地介绍了常用的大、中规模集成电路的应用方法,它们可以作为课程设计和综合设计时参考。本书的每章中都有例题,每章后附有习题,以利于学生联系实际,巩固所学知识。

带有“\*”的章节作为选讲的内容。在学时较少或要求不高的情况下,首先删减这些内容,删减的内容不会影响整个理论体系的完整性和内容的连贯性。

本书主要由范文兵教授编写,程明教授主审。本书分为 9 章。第 2、3、5、7、8、9 章由范文兵、李亚萍、王辉、陈燕编写,第 1、4、6 章由邓记才、王忠勇编写,全书由范文兵统稿、定稿,李敏校对。在本书的编写过程中得到了 Altera 公司提供的有益的资料和软件,在学校的 EAD 实验室开展了

充分的研究和实验。本书的编写得到了学校和学院领导的大力支持和具体指导。另外，编写过程中参考了一些已经出版的经典教材和文献，在此谨向这些文献的作者表示衷心的感谢。借此机会也向所有关心、支持和帮助过本书编写、修改、出版、发行工作的同志致以诚挚的谢意。

教材中一定还有许多不完善之处，殷切期望读者给予批评指正。

作者

2007年10月



# 本书的符号说明

## 1. 电压、电流符号

$v_i$	输入电平(相对于电路公共参考点的电压)
$i_i$	输入电流
$v_o$	输出电平(相对于电路公共参考点的电压)
$i_o$	输出电流
$V_{IH}$	输入高电平
$V_{IL}$	输入低电平
$V_{OH}$	输出高电平
$V_{OL}$	输出低电平
$I_{IL}$	低电平输入电流
$I_{IH}$	高电平输入电流
$I_{OL}$	低电平输出电流
$I_{OH}$	高电平输出电流
$V_{CC}$	电源电压(双极性器件)
$V_{DD}$	电源电压(MOS 器件)
$V_{NH}$	输入高电平噪声容限
$V_{NL}$	输入低电平噪声容限
$V_{NA}$	脉冲噪声电压幅值
$V_{TH}$	门电路的阈值电压
$i_L$	负载电流的瞬时值
$V_{T+}$	施密特触发器正向阈值电压
$V_{T-}$	施密特触发器负向阈值电压
$V_{REF}$	参考(或基准)电压
$V_{GS(th)N}$	N 沟道 MOS 管的开启电压
$V_{GS(th)P}$	P 沟道 MOS 管的开启电压
$v_{GS}$	MOS 管栅极相对于源极的电压
$v_{DS}$	MOS 管漏极相对于源极的电压
$v_{BE}$	三极管的基极相对于发射极的电压

$u_{CE}$	三极管的集电极相对于发射极的电压
$I_{CC}$	电源 $V_{CC}$ 的平均电流
$I_{DD}$	电源 $V_{DD}$ 的平均电流

## 2. 脉冲参数符号

$f$	脉冲的频率
$q$	占空比
$t_r$	上升时间
$t_f$	下降时间
$t_w$	脉冲宽度
$t_g$	脉冲间隔
$t_{re}$	恢复时间
$T$	重复周期
$U_m (V_m)$	脉冲幅值

## 3. 电阻、电容符号

$C$	电容通用符号
$R$	电阻通用符号
$C_i$	输入电容
$C_h$	保持电容
$C_L$	负载电容
$C_{GD}$	MOS 管栅极与漏极间电容
$C_{GS}$	MOS 管栅极与源极间电容
$R_i$	输入电阻
$R_L$	负载电阻
$R_O$	输出电阻
$R_{OFF}$	器件截止时内阻
$R_{ON}$	器件导通时内阻

## 4. 器件及参数符号

$A$	放大器
$D$	二极管
$G$	门电路
$T$	三极管
$T_N$	N 沟道 MOS 管
$T_P$	P 沟道 MOS 管
$TG$	传输门
$T_{pd}$	平均传输延迟时间
$T_{PHL}$	输出由高电平变为低电平的传输延迟时间
$T_{PLH}$	输出由低电平变为高电平的传输延迟时间

### 5. 其他符号

B	二进制
D	十进制
CLK	时钟
EN	输入使能(允许)
OE	输出使能(允许)

# 目 录

# CONTENTS

第 1 章 逻辑代数基础 .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 脉冲波形和数字波形 .....	1
1.1.2 数制和码制 .....	3
1.1.3 其他二进制码 .....	7
1.2 基本逻辑函数及运算定律 .....	8
1.2.1 逻辑函数中的三种基本运算 .....	9
1.2.2 逻辑代数的运算定律及规则 .....	10
1.3 逻辑函数表示方法 .....	13
1.3.1 逻辑函数基本表示方法 .....	14
1.3.2 逻辑函数的最小项和最大项 .....	16
1.3.3 从真值表归纳逻辑函数 .....	17
1.4 逻辑函数的公式化简法 .....	19
1.4.1 逻辑函数的最简形式 .....	19
1.4.2 常用公式化简方法 .....	20
1.5 逻辑函数卡诺图化简 .....	21
1.5.1 逻辑函数卡诺图表示法 .....	21
1.5.2 卡诺图化简逻辑函数 .....	23
1.5.3 具有约束项的逻辑函数化简 .....	26
* 1.6 引入变量卡诺图化简逻辑函数 .....	27
* 1.7 硬件描述语言 VHDL 基础 .....	29
1.7.1 VHDL 概述 .....	29
1.7.2 VHDL 语言基本结构 .....	30
1.7.3 VHDL 语言规则 .....	32
1.7.4 MAX+plus II 开发工具 .....	35
本章小结 .....	36
习题 .....	36
第 2 章 门电路 .....	40
2.1 概述 .....	40

2.2	半导体管的开关特性 .....	40
2.2.1	半导体二极管的开关特性 .....	40
2.2.2	半导体三极管的开关特性 .....	42
2.3	简单的与、或、非门电路 .....	47
2.3.1	二极管门电路 .....	47
2.3.2	三极管非门 .....	48
2.3.3	二极管-三极管与非、或非门 .....	49
2.4	TTL 集成门电路 .....	49
2.4.1	TTL 与非门电路结构和工作原理 .....	50
2.4.2	TTL 与非门的外部特性及参数 .....	51
2.4.3	其他类型的 TTL 门电路 .....	56
2.4.4	TTL 门电路的改进系列 .....	60
2.4.5	TTL 门电路的使用 .....	62
2.5	发射极耦合逻辑门 .....	63
2.5.1	ECL 门电路的基本单元 .....	63
2.5.2	ECL 电路的结构和工作原理 .....	63
2.5.3	ECL 电路的主要特点 .....	64
2.6	集成注入逻辑(IIL 或 I <sup>2</sup> L) .....	65
2.6.1	I <sup>2</sup> L 电路结构与工作原理 .....	65
2.6.2	I <sup>2</sup> L 门电路的主要特点 .....	66
2.7	金属-氧化物-半导体逻辑 .....	66
2.7.1	CMOS 反相器 .....	66
2.7.2	CMOS 反相器的外部特性和参数 .....	68
2.7.3	其他类型的 CMOS 门电路 .....	70
2.7.4	NMOS 逻辑门 .....	73
2.7.5	MOS 门电路的正确使用 .....	73
2.8	门电路产品简介与接口电路 .....	74
2.8.1	门电路产品简介 .....	74
2.8.2	各门电路间的接口电路 .....	77
2.9	用 VHDL 实现基本逻辑门电路的描述 .....	78
	本章小结 .....	80
	习题 .....	80
<b>第 3 章</b>	<b>组合逻辑电路 .....</b>	<b>87</b>
3.1	概述 .....	87
3.2	组合逻辑电路的分析方法和设计方法 .....	88
3.2.1	组合电路的分析 .....	88
3.2.2	组合电路的设计 .....	89
3.3	编码器和译码器 .....	91
3.3.1	编码器 .....	91

3.3.2	译码器 .....	95
3.4	数据选择器和分配器 .....	103
3.4.1	数据选择器 .....	103
3.4.2	数据分配器 .....	108
3.5	数码奇偶发生/校验器 .....	109
3.6	算术运算电路 .....	112
3.7	数值比较器 .....	117
3.8	组合逻辑电路中的竞争与冒险 .....	119
3.8.1	竞争-冒险现象及产生原因 .....	119
3.8.2	冒险现象的判别方法 .....	120
3.8.3	消除冒险现象的方法 .....	121
* 3.9	用 VHDL 实现组合逻辑电路的描述 .....	123
	本章小结 .....	128
	习题 .....	129
<b>第 4 章</b>	<b>触发器 .....</b>	<b>133</b>
4.1	概述 .....	133
4.2	RS 触发器 .....	134
4.2.1	基本 RS 触发器 .....	134
4.2.2	同步 RS 触发器 .....	136
4.3	主从触发器 .....	139
4.3.1	主从 RS 触发器 .....	139
4.3.2	主从 JK 触发器 .....	141
4.4	边沿触发器 .....	145
4.4.1	维持阻塞结构边沿触发器 .....	145
4.4.2	利用传输延迟时间的边沿触发器 .....	146
4.4.3	CMOS 主从结构的边沿触发器 .....	148
4.5	触发器的主要参数 .....	151
4.6	不同类型触发器之间的转换 .....	151
* 4.7	用 VHDL 描述锁存器和触发器 .....	153
	本章小结 .....	156
	习题 .....	156
<b>第 5 章</b>	<b>时序逻辑电路 .....</b>	<b>162</b>
5.1	概述 .....	162
5.2	时序逻辑电路的分析方法 .....	164
5.2.1	同步时序逻辑电路的分析方法 .....	164
5.2.2	异步时序逻辑电路的分析方法 .....	166
5.3	寄存器 .....	168
5.3.1	数码寄存器 .....	168
5.3.2	移位寄存器 .....	169

5.4	计数器 .....	174
5.4.1	同步二进制计数器 .....	175
5.4.2	同步十进制计数器 .....	180
5.4.3	异步计数器 .....	186
5.4.4	任意进制计数器 .....	189
5.4.5	移存型计数器 .....	193
5.4.6	计数器的应用 .....	197
5.5	序列信号发生器 .....	198
5.6	时序逻辑电路的设计方法 .....	200
*5.7	用 VHDL 描述时序逻辑电路 .....	207
	本章小结 .....	212
	习题 .....	213
<b>第 6 章</b>	<b>脉冲波形的产生和整形 .....</b>	<b>219</b>
6.1	概述 .....	219
6.2	555 定时器 .....	219
6.2.1	555 定时器的电路结构 .....	220
6.2.2	555 定时器的功能 .....	220
6.3	施密特触发器 .....	221
6.3.1	施密特触发器的特点 .....	221
6.3.2	用门电路组成施密特触发器 .....	222
6.3.3	555 定时器构成的施密特触发器 .....	224
6.3.4	集成施密特触发器 .....	226
6.3.5	施密特触发器的应用 .....	227
6.4	单稳态触发器 .....	229
6.4.1	单稳态触发器的特点 .....	229
6.4.2	用门电路组成的单稳态触发器 .....	229
6.4.3	555 定时器构成的单稳态触发器 .....	231
6.4.4	集成单稳态触发器 .....	232
6.4.5	单稳态触发器的应用 .....	234
6.5	多谐振荡器 .....	237
6.5.1	用门电路构成的多谐振荡器 .....	237
6.5.2	石英晶体多谐振荡器 .....	240
6.5.3	施密特触发器构成的多谐振荡器 .....	241
6.5.4	用 555 定时器构成的多谐振荡器 .....	242
*6.5.5	压控振荡器 .....	243
6.5.6	多谐振荡器的应用 .....	249
	本章小结 .....	251
	习题 .....	251

第 7 章 存储器和可编程逻辑器件 .....	258
7.1 概述 .....	258
7.1.1 存储器 .....	258
7.1.2 可编程逻辑器件 .....	259
7.2 只读存储器 .....	260
7.2.1 掩模 ROM .....	260
7.2.2 可编程 ROM(PROM) .....	262
7.2.3 可擦除可编程 ROM(EPROM 和 E <sup>2</sup> PROM) .....	263
7.2.4 ROM 的应用 .....	266
7.3 随机存储器 .....	269
7.3.1 RAM 的组成及工作原理 .....	269
7.3.2 RAM 的存储单元 .....	270
7.3.3 集成 RAM 芯片 .....	272
7.3.4 RAM 的扩展与应用 .....	274
7.4 可编程逻辑阵列 .....	275
7.5 可编程阵列逻辑 .....	278
7.5.1 PAL 的基本电路结构 .....	278
7.5.2 PAL 输出结构形式 .....	279
7.5.3 PAL 应用举例 .....	281
7.6 通用阵列逻辑 .....	285
7.6.1 GAL 电路结构 .....	285
7.6.2 GAL 的工作模式 .....	288
7.6.3 GAL 行地址映射图 .....	290
7.7 复杂可编程逻辑器件 .....	291
7.7.1 MAX7000 系列器件结构 .....	291
7.7.2 MAX7000 系列器件的技术性能特点 .....	295
7.8 现场可编程门阵列 .....	295
7.8.1 FLEX10K 系列器件结构 .....	296
7.8.2 FLEX10K 系列器件的技术性能特点 .....	302
7.9 CPLD 的编程和 FPGA 的配置 .....	303
7.9.1 CPLD 编程方式 .....	303
7.9.2 FPGA 配置方式 .....	305
7.9.3 CPLD/FPGA 器件烧录方法 .....	308
7.10 CPLD/FPGA 主要产品介绍 .....	309
7.10.1 Altera 公司产品 .....	309
7.10.2 Xilinx 公司产品 .....	309
7.10.3 Lattice 公司产品 .....	310
7.11 现代数字系统设计方法 .....	310
7.11.1 概述 .....	310



7.11.2	原理图输入设计流程 .....	311
7.11.3	VHDL 文本输入设计流程 .....	317
7.11.4	设计流程归纳 .....	318
* 7.12	用 VHDL 实现存储器 .....	318
	本章小结 .....	321
	习题 .....	322
<b>第 8 章</b>	<b>数/模和模/数转换 .....</b>	<b>325</b>
8.1	概述 .....	325
8.2	D/A 转换器 .....	326
8.2.1	D/A 转换器电路结构 .....	326
8.2.2	DAC 的主要技术指标 .....	330
8.2.3	集成 DAC 器件及应用 .....	332
8.3	A/D 转换器 .....	337
8.3.1	A/D 转换的基本原理 .....	337
8.3.2	直接比较 ADC .....	339
8.3.3	间接比较 ADC .....	342
8.3.4	ADC 的主要技术指标 .....	344
8.3.5	集成 ADC 器件及应用 .....	345
* 8.4	用状态机实现 ADC574A 采样控制电路 .....	352
	本章小结 .....	355
	习题 .....	356
<b>第 9 章</b>	<b>数字系统典型应用 .....</b>	<b>361</b>
9.1	概述 .....	361
9.2	数字钟设计 .....	362
9.2.1	电路结构 .....	362
9.2.2	部分电路设计 .....	362
9.3	数字频率计 .....	365
9.3.1	基本原理 .....	365
9.3.2	数字频率计的电路结构 .....	366
9.3.3	主要技术指标 .....	369
9.4	直流数字电压表 .....	369
9.4.1	三位半双积分 A/D 转换器 CC14433 的性能特点 .....	369
9.4.2	三位半直流数字电压表电路结构 .....	370
9.5	交通信号灯控制系统 .....	372
9.5.1	控制逻辑分析 .....	372
9.5.2	单元电路设计 .....	373
9.6	智力抢答器设计 .....	376
9.7	直接数字频率合成技术 .....	380
9.7.1	DDS 基本原理 .....	380