



新坐标大学本科电子信息类专业系列教材

山东省精品课程教材

数字电子技术基础

范爱平 周常森 编著



清华大学出版社



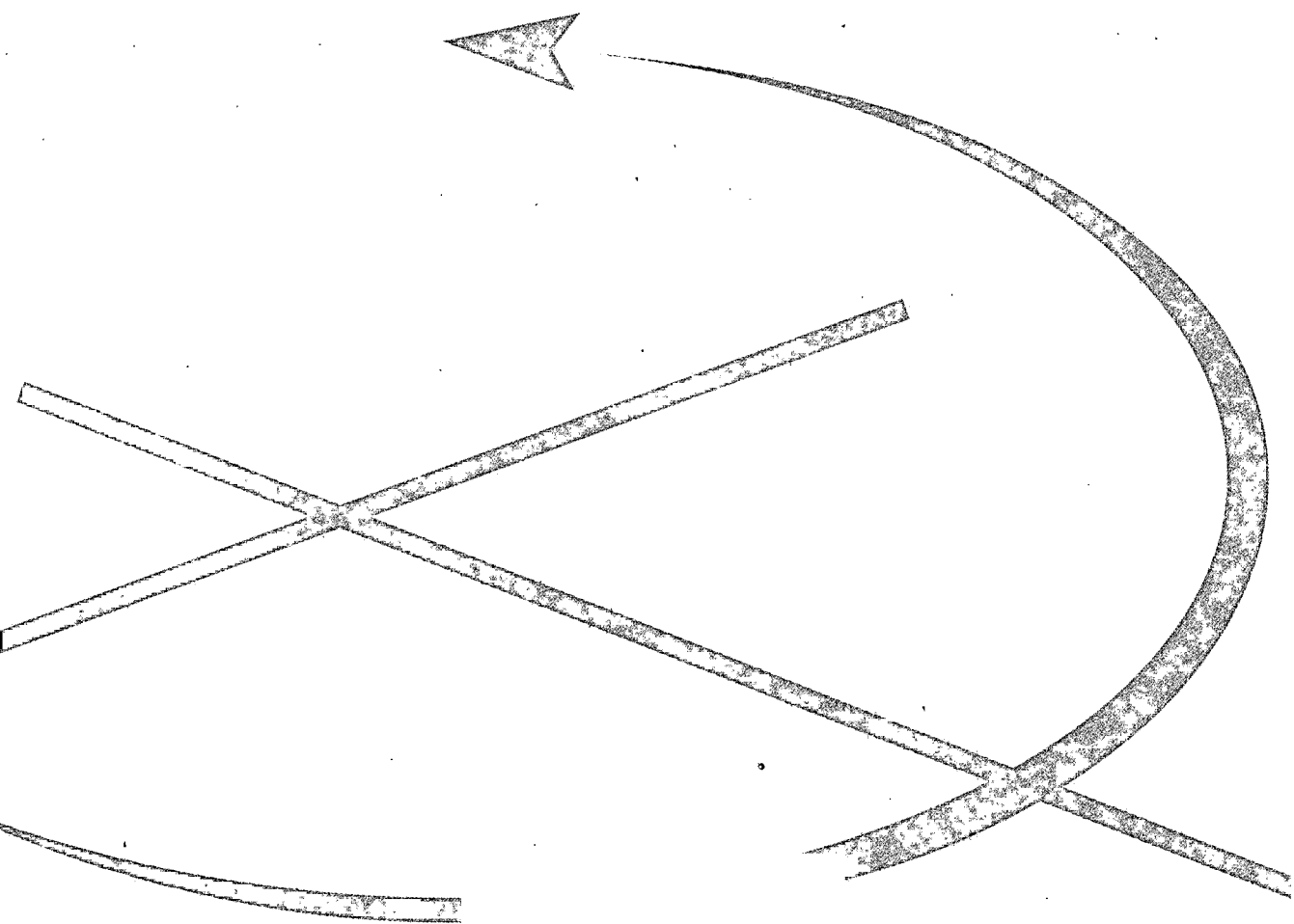
新坐标大学本科电子信息类专业系列教
山 东 省 精 品 课 程 教 材

TN431.2/68=2

2008

数字电子技术基础

范爱平 周常森 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是山东大学山东省精品课程“电子技术基础”配套系列教材中的一本。主要内容参照了教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新修订的数字电子技术基础课程教学基本要求,并融合了作者多年的教学经验及教学改革的体会。全书包括初识数字电路、分析与设计数字电路的工具、逻辑门电路、组合逻辑电路、记忆单元电路、时序逻辑电路、脉冲单元电路、半导体存储器、数模与模数转换器、可编程逻辑器件共10章。在内容安排上注意了由浅入深、循序渐进。在文字叙述上力求通俗易懂、生动有趣、层层展开,具有较强的可读性与可教性。为了便于多媒体教学,本书配有详实的电子课件。

本书主要作为高等院校电气、电子信息及自动化类专业的教材,也可供从事电子技术工作的有关人员和自学者参考。

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 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/范爱平,周常森编著. —北京:清华大学出版社,2008.5

(新坐标大学本科电子信息类专业系列教材)

ISBN 978-7-302-15719-9

I. 数… II. ①范… ②周… 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 108177 号

责任编辑:陈国新

责任校对:李建庄

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

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

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市世界知识印刷厂

装 订 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.75 字 数:485 千字

版 次:2008 年 5 月第 1 版 印 次:2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:29.80 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:021486-01



编委会名单

顾问(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|---------------|
| 李衍达 | 清华大学信息科学技术学院 |
| 邬贺铨 | 中国工程院 |
| 姚建铨 | 天津大学激光与光电子研究所 |

主任:

- | | |
|-----|-----------|
| 董在望 | 清华大学电子工程系 |
|-----|-----------|

编委会委员(按姓氏音节顺序):

- | | |
|-----|-------------------|
| 鲍长春 | 北京工业大学电子信息与控制工程学院 |
| 陈 怡 | 东南大学高教所 |
| 戴瑜兴 | 湖南大学电气与信息工程学院 |
| 方达伟 | 中国计量学院信息工程学院 |
| 甘良才 | 武汉大学电子信息学院通信工程系 |
| 郭树旭 | 吉林大学电子科学与工程学院 |
| 胡学钢 | 合肥工业大学计算机与信息学院 |
| 金伟其 | 北京理工大学信息科技学院光电工程系 |
| 孔 力 | 华中科技大学控制系 |
| 刘振安 | 中国科学技术大学自动化系 |
| 陆大铨 | 清华大学电子工程系 |
| 马建国 | 西南科技大学信息与控制工程学院 |
| 彭启琮 | 电子科技大学通信与信息工程学院 |
| 仇佩亮 | 浙江大学信电系 |
| 沈伯弘 | 北京大学电子学系 |

- | | |
|--------|---------------------|
| 童家榕 | 复旦大学信息科学与技术学院微电子研究院 |
| 汪一鸣(女) | 苏州大学电子信息学院 |
| 王福源 | 郑州大学信息工程学院 |
| 王华奎 | 太原理工大学信息与通信工程系 |
| 王 瑶(女) | 美国纽约 Polytechnic 大学 |
| 王毓银 | 北京联合大学 |
| 王子华 | 上海大学通信学院 |
| 吴建华 | 南昌大学电子信息工程学院 |
| 徐金平 | 东南大学无线电系 |
| 阎鸿森 | 西安交通大学电子与信息工程学院 |
| 袁占亭 | 甘肃工业大学 |
| 乐光新 | 北京邮电大学电信工程学院 |
| 翟建设 | 解放军理工大学气象学院 4 系 |
| 赵圣之 | 山东大学信息科学与工程学院 |
| 张邦宁 | 解放军理工大学通信工程学院无线通信系 |
| 张宏科 | 北京交通大学电子信息工程学院 |
| 张 泽 | 内蒙古大学自动化系 |
| 郑宝玉 | 南京邮电学院 |
| 郑继禹 | 桂林电子工业学院二系 |
| 周 杰 | 清华大学自动化系 |
| 朱茂镒 | 北京信息工程学院 |



序言

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”是清华大学出版社“新坐标高等理工教材与教学资源体系创新与服务计划”的一个重要项目。进入 21 世纪以来,信息技术和产业迅速发展,加速了技术进步和市场的拓展,对人才的需求出现了层次化和多样化的变化,这个变化必然反映到高等学校的定位和教学要求中,也必然反映到对适用教材的需求。本项目是针对这种需求,为培养层次化和多样化的电子信息类人才提供系列教材。

“新坐标大学本科电子信息类专业系列教材”面向全国教学研究型和教学主导型普通高等学校电子信息类专业的本科教学,覆盖专业基础课和专业课,体现培养知识面宽、知识结构新、适应性强、动手能力强的人才的需要。编写的基本指导思想可概括为:

1. 教材的类型、选题和大纲的确定尽可能符合教学需要,以提高适用性。教材类型初步确定为专业基础课和专业课,专业基础课拟按电子信息大类编写,以体现宽口径;专业课包括本专业和非本专业两种,以利于兼顾专业能力的培养与扩展知识面的需要。选题首先从目前没有或虽有但不符合教学要求的教材开始,逐步扩大。

2. 重视基础知识和基础知识的提炼与更新,反映技术发展的现状和趋势,让学生既有扎实的基础,又了解科学技术发展的现状。

3. 重视工程性内容的引入,理论和实际相结合,培养学生的工程概念和能力。工程教育是多方面的,从教材的角度,要充分利用计算机的普及和多媒体手段的发展,为学生建立工程概念、进行工程实验和设计训练提供条件。

4. 将分析和设计工具与教材内容有机结合,培养学生使用工具的能力。

5. 教材的结构上要符合学生的认识规律,由浅入深,由特殊到一般。叙述上要易读易懂,适合自学。配合教材出版多种形式的教学辅助资料,包括教师手册、学生手册、习题集和习题解答、电子课件等。

本系列教材已经陆续出版了,希望能被更多的教师和学生使用,并热忱地期望将使用中发现的问题和改进的建议告诉我们,通过作者和读者之间的互动,必然会形成一批精品教材,为我国的高等教育作出贡献。欢迎对编委会的工作提出宝贵意见。



前言

转眼之间,我们在《电子技术基础》课程的讲台上站了 30 年了,亲身经历了电子技术日新月异的发展,也亲身体会了《电子技术基础》作为高等学校电类专业一门重要的技术基础课;对学生们所起到的承上启下的重要作用以及对培养学生的创新能力的至关重要性。多年来,我们结合工作实践对该课程进行了卓有成效的教学改革并取得了多项教学成果:2001 年获得山东省教学成果二等奖,2005 年获山东省优秀教学成果一等奖,2004 年被评为山东省精品课程。

一直以来就想把自己的一些教学体会写到教材中去。2001—2002 年我们课程组在山东科技出版社出版了一套 6 本《电子技术基础》系列教材,已经有多届学生使用,并且反响不错。在此基础上,我们总结了经验与不足,吸收了最新的科技与教学成果及本校教学改革的经验,重新对该套教材进行了修订与编辑,推出了现在这一套系列教材。该教材具有以下的特点:

1. 系列化。该套教材共 6 本。其中《模拟电子技术基础》和《数字电子技术基础》为主教材;《电子技术学习指南与习题解答》对主教材中的全部习题进行解答及提示;《电子技术实验与课程设计》为实验、课程设计的指导书;《VHDL 与可编程逻辑器件设计》和《大学生电子设计竞赛指导》(暂定名)是为进一步加强学生动手与创新能力而编写的。这样,电子技术课程的理论基础、实验与设计、创新提高三个环节都有了配套的教材。

2. 立体化。为《模拟电子技术基础》、《数字电子技术基础》配套了电子课件,该课件内容翔实,文字简捷,电路图采用 OrCAD/PSpice 软件绘制,规范标准,文字与重要的电路图尽量分解演示。为《电子技术实验与课程设计》配套了光盘,光盘中附有电子元器件知识、仪器使用方法、实验题目与课程设计项目的 PPT 讲解、EWB、Multisim 等应用软件的使用方法等。

3. 经过了多年的教学锤炼。该教材是在总结我校电子技术课程多年教学经验的基础上完成的,并力图反映我们的教学改革成果。在内容安排上注意了由浅入深、循序渐进、层层展开。在实验与课程内容设计上采用了实际实验与计算机仿真相结合的方式。教材中选编的内容及配套的电子课件都经过了多年教学实践的检验。

4. 参考了最新的教学基本要求。《数字电子技术基础》是该系列教材中的一本。编写时参考了教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新修订的《数字电子技术基础课程教学基本要求》。在内容上着重基本概念、基本方法的论述,适当引入新技术。同时兼顾了与其他几本书在内容上的相互照应。如按照基本要求,本书中新增加了数字电路的 VHDL 语言的描述,但由于 VHDL 的系统知识在该系列教材的《VHDL 与可编程逻辑器件设计》一书中有较详细的讲解,所以本书只是在第 2 章对 VHDL 语言作了最基本的介绍,又在后面几章中举了几个简单的例子。

5. 具有较强的可读性与可教性。教材主要是写给学生与教师看的,为了引发读者阅读的积极性,本书在文字叙述上力求通俗易懂、生动有趣。在每章的开始都有一段略带文学色彩的介绍本章内容的导语;提出新概念时尽量用生活中相近的事例类比;理论与方法多用例题诠释。作者很欣赏有些国外教材的编写风格,用轻松的语气、人性化的语言将抽象的概念讲述得津津有味,把枯燥的电路描绘得有声有色。本书试图采用这种风格,但由于编者水平及教材篇幅所限,无法全部实现,只在某些地方稍做尝试,也算作本书的一个特色。

本书的第 1、2、3、4、5、6、10 章由范爱平编写,第 7、8、9 章由周常森、范爱平两人共同编写。编写过程中课程组全体教师对编写大纲进行了多次讨论,提出了许多宝贵建议,高宁老师对书中全部的 VHDL 程序进行了仿真,王济浩老师也对该书进行了审阅并提出了许多修改意见;另外,本书编写过程中还参考了许多兄弟院校出版的相关教材与资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误,敬请读者指正。

编者

2008 年 2 月于山东大学

faiping123@163.com



目 录

第 1 章 初识数字电路	1
1.1 数字电路的基本概念	1
1.1.1 模拟信号与数字信号	1
1.1.2 数字信号的表示法	2
1.1.3 数字电路	3
1.2 数制与 BCD 码	5
1.2.1 几种常用的计数制	5
1.2.2 不同数制之间的相互转换	7
1.2.3 二-十进制码	9
1.3 逻辑运算	10
1.3.1 基本逻辑运算	10
1.3.2 常用逻辑运算	12
1.3.3 逻辑门对信号的控制作用	14
1.4 逻辑函数及其表示方法	14
1.4.1 逻辑函数的建立	14
1.4.2 逻辑函数的表示方法	15
小结	17
习题	17
第 2 章 分析与设计数字电路的工具	19
2.1 逻辑代数	19
2.1.1 逻辑代数的基本公式	19
2.1.2 逻辑代数的基本规则	20
2.1.3 逻辑函数的代数化简法	21
2.2 卡诺图化简法	23
2.2.1 最小项与最小项表达式	23
2.2.2 卡诺图及其逻辑函数的卡诺图表示法	25
2.2.3 卡诺图化简法	28
2.2.4 具有无关项的逻辑函数的化简	31
2.3 VHDL 硬件描述语言简介	33

2.3.1	VHDL 的基本结构	33
2.3.2	VHDL 的语言元素	36
2.3.3	VHDL 的基本语句	39
小结	.....	45
习题	.....	45
第 3 章	逻辑门电路	47
3.1	二极管的开关特性及二极管门电路	47
3.1.1	二极管的开关特性	47
3.1.2	二极管门电路	49
3.2	三极管的开关特性及三极管门电路	51
3.2.1	三极管的开关特性	51
3.2.2	三极管非门电路	54
3.2.3	二极管和三极管组成的与非门电路	55
3.3	TTL 逻辑门电路	56
3.3.1	TTL 与非门的基本结构及工作原理	56
3.3.2	TTL 与非门的开关速度	58
3.3.3	TTL 与非门的电压传输特性及抗干扰能力	60
3.3.4	TTL 与非门的带负载能力	63
3.3.5	TTL 门电路的其他类型	65
3.3.6	TTL 集成门电路系列简介	70
3.4	MOS 逻辑门电路	72
3.4.1	NMOS 门电路	72
3.4.2	CMOS 非门	74
3.4.3	CMOS 门电路	76
3.4.4	CMOS 集成门电路系列简介	79
3.5	集成门电路的应用	80
3.5.1	TTL 与 CMOS 集成逻辑门性能比较	80
3.5.2	TTL 与 CMOS 器件之间的接口问题	80
3.5.3	门电路带负载时的接口问题	82
3.5.4	多余输入端的处理	83
3.6	两种有效电平及两种逻辑符号	83
3.6.1	两种有效电平	83
3.6.2	两种逻辑符号	84
3.6.3	逻辑符号的变换	85
3.7	门电路的 VHDL 描述	86
小结	.....	87
习题	.....	88

第 4 章 组合逻辑电路	93
4.1 组合逻辑电路的分析方法与设计方法	93
4.1.1 组合逻辑电路概述	93
4.1.2 组合逻辑电路的分析方法	94
4.1.3 组合逻辑电路的设计方法	95
4.2 编码器	98
4.2.1 编码器的基本概念及工作原理	98
4.2.2 二进制编码器	99
4.2.3 优先编码器	100
4.2.4 编码器的应用	101
4.3 译码器	103
4.3.1 译码器的基本概念及工作原理	103
4.3.2 集成译码器举例	104
4.3.3 译码器的应用	106
4.3.4 数字显示译码器	108
4.4 数据选择器	111
4.4.1 数据选择器的基本概念及工作原理	111
4.4.2 集成数据选择器举例	112
4.4.3 数据选择器的应用	113
4.5 数值比较器	115
4.5.1 数值比较器的基本概念及工作原理	115
4.5.2 集成数值比较器及其应用	117
4.6 加法器	118
4.6.1 加法器的基本概念及工作原理	118
4.6.2 快速进位集成加法器 74283	120
4.7 组合逻辑电路中的竞争冒险	123
4.7.1 竞争冒险产生的原因	123
4.7.2 冒险现象的识别	125
4.7.3 冒险现象的消除方法	126
4.8 组合逻辑电路的 VHDL 描述	127
4.8.1 VHDL 中中间变量的描述	127
4.8.2 组合逻辑电路的 VHDL 描述举例	128
小结	130
习题	130
第 5 章 记忆单元电路	134
5.1 锁存器	134
5.1.1 具有记忆功能的双稳态元件	134

5.1.2	用与非门组成的 RS 锁存器	135
5.1.3	用或非门组成的 RS 锁存器	136
5.1.4	门控 RS 锁存器	136
5.1.5	门控 D 锁存器	137
5.2	触发器	138
5.2.1	时钟信号与触发器	138
5.2.2	主从 RS 触发器	139
5.2.3	主从 JK 触发器及 T 与 T' 触发器	141
5.2.4	维持-阻塞边沿 D 触发器	144
5.2.5	利用传输延迟的边沿 JK 触发器	147
5.2.6	CMOS 主从结构的边沿触发器	148
5.3	集成锁存器与触发器	149
5.3.1	集成触发器举例	149
5.3.2	触发器功能的转换	151
5.3.3	触发器的动态特性	153
5.3.4	锁存器与触发器应用举例	153
5.4	锁存器与触发器的 VHDL 描述	156
5.4.1	锁存器的描述	156
5.4.2	触发器的描述	157
小结	.....	158
习题	.....	159
第 6 章	时序逻辑电路	164
6.1	时序逻辑电路的基本概念	164
6.2	时序逻辑电路的一般分析方法	165
6.2.1	时序逻辑电路分析的一般步骤	165
6.2.2	同步时序逻辑电路分析举例	166
6.2.3	异步时序逻辑电路分析举例	168
6.3	计数器	169
6.3.1	二进制计数器	170
6.3.2	十进制计数器	175
6.3.3	集成计数器举例	178
6.3.4	集成计数器的应用	183
6.4	寄存器	188
6.4.1	并行数据寄存器	188
6.4.2	移位寄存器	189
6.4.3	移位寄存器构成的移位型计数器	192

6.5	时序逻辑电路的一般设计方法	194
6.5.1	同步时序逻辑电路的设计	194
6.5.2	异步时序逻辑电路的设计	198
6.6	时序逻辑电路的 VHDL 描述	200
6.6.1	VHDL 中状态的描述	200
6.6.2	一般时序电路的 VHDL 描述举例	201
6.6.3	状态机及其 VHDL 描述	203
小结	.....	207
习题	.....	208
第 7 章	脉冲单元电路	212
7.1	脉冲信号与脉冲电路	212
7.2	集成 555 定时器	214
7.2.1	电压比较器	214
7.2.2	555 定时器	215
7.3	施密特触发器	217
7.3.1	用 555 定时器构成的施密特触发器	217
7.3.2	用门电路构成的施密特触发器	219
7.3.3	集成施密特触发器	219
7.3.4	施密特触发器的应用	221
7.4	多谐振荡器	222
7.4.1	用 555 定时器构成的多谐振荡器	222
7.4.2	用门电路组成的多谐振荡器	224
7.4.3	石英晶体振荡器	226
7.4.4	多谐振荡器的应用	228
7.5	单稳态触发器	230
7.5.1	用 555 定时器构成的单稳态触发器	231
7.5.2	用门电路组成的单稳态触发器	234
7.5.3	集成单稳态触发器	235
7.5.4	单稳态触发器的应用	238
小结	.....	240
习题	.....	240
第 8 章	半导体存储器	244
8.1	什么是半导体存储器	244
8.2	只读存储器	245
8.2.1	固定 ROM	245

8.2.2	可编程 ROM	248
8.2.3	光擦除可编程 ROM	249
8.2.4	电擦除可编程 ROM	250
8.2.5	快闪存储器	252
8.2.6	用 ROM 产生逻辑函数	253
8.3	随机存取存储器	255
8.3.1	RAM 的基本结构	255
8.3.2	静态 RAM	257
8.3.3	动态 RAM	260
8.3.4	存储器的容量扩展	262
小结		264
习题		264
第 9 章	数模与模数转换器	267
9.1	概述	267
9.2	D/A 转换器	268
9.2.1	D/A 转换器的基本原理	268
9.2.2	$R/2R$ 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	269
9.2.3	权电流型 D/A 转换器	271
9.2.4	D/A 转换器的主要技术指标	271
9.2.5	集成 D/A 转换器及其应用	272
9.3	A/D 转换器	276
9.3.1	A/D 转换的一般步骤	276
9.3.2	并行比较型 A/D 转换器	279
9.3.3	逐次逼近型 A/D 转换器	281
9.3.4	双积分型 A/D 转换器	283
9.3.5	A/D 转换器的主要技术指标	285
9.3.6	集成 A/D 转换器及其应用	286
小结		288
习题		289
第 10 章	可编程逻辑器件	291
10.1	PLD 的基本概念	291
10.1.1	PLD 的由来	291
10.1.2	PLD 的结构与分类	292
10.1.3	PLD 的电路表示法	293
10.2	低密度 PLD	294

10.2.1 ROM 也是一种可编程逻辑器件	295
10.2.2 可编程逻辑阵列 PLA	296
10.2.3 可编程阵列逻辑 PAL	299
10.2.4 通用阵列逻辑 GAL	299
10.3 高密度 PLD	302
10.3.1 复杂可编程逻辑器件 CPLD	302
10.3.2 现场可编程门阵列 FPGA	305
10.4 基于可编程逻辑器件的数字系统设计流程	307
小结	309
习题	309
参考文献	312



第1章

初识数字电路

随着信息时代的到来,“数字”这两个字正以越来越高的频率出现在各个领域,数字相机、数字电视、数字通信、数字控制……数字化已成为当今电子技术的发展潮流。数字电路是数字电子技术的核心,是计算机、数字通信等所有数字系统的硬件基础。想对“数字”这个时尚词有一个专业化的了解,想搞清数字系统中那些神秘的硬件是怎样工作的,那就应该先从基本的概念开始。先把概念理解透彻,可以起到事半功倍的效果。本章主要介绍有关数字电路的一些基本概念,包括数字信号与数字电路的特点、数制、基本逻辑运算、逻辑函数及其表示方法等。

1.1 数字电路的基本概念

1.1.1 模拟信号与数字信号

1. 模拟量与数字量

自然界中存在的物理量千差万别,按其变化规律可以分为模拟量和数字量两大类。模拟量是指那些在时间上和数值上都连续变化的物理量,比如车速、室温、声音等。这些模拟量通过传感器转换成的电信号是随时间连续变化的,可以用测量仪器测量出某个时刻的瞬时值或某段时间之内的平均值。数字量是指那些在时间上和数值上都不连续的物理量,如人口统计、记录生产流水线上零件的个数、乒乓球比赛记分等。这些信号的变化发生在一系列离散的瞬间,其值的大小和每次的增减变化都是某个最小数量单位(如1人、1件)的整数倍。

2. 模拟量的数字表示法

自然界中存在的模拟量远远多于数字量,但是许多模拟量是可以

用数字形式表示的。比如时间是个模拟量,一天的时间变化是连续的,但可以把一天的时间变化用数字手表的读数来表示,数字手表的读数是不连续的,是每次以一分或一秒的步长变化,这就是时间的数字表示法。只要对精度的要求不是很苛刻,大多数的模拟量都是可以用数字法表示的。比如人的身高是个模拟量,记录人的身高发育过程时,不可能每时每刻都测量,如规定每年生日那天测量一次,这就是采样时间点,一年即为采样时间间隔。每次测量时,身高值常介于米尺的两个刻度线之间,测量时应读与身高值最近的一条刻度

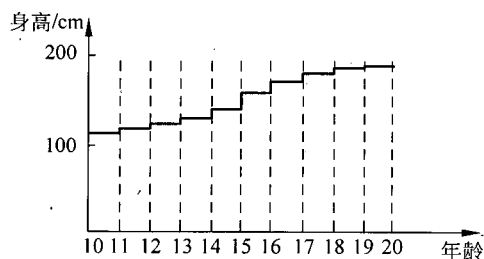


图 1.1.1 身高的数字表示法

线作为身高值,比如 167.3cm,这称为量化,量化单位为 0.1cm。如果取 1cm 作为量化单位,则可读为 167cm。这样记录的某人在 10~20 岁的身高发育过程如图 1.1.1 所示,可见身高值在时间上和数值上都是不连续的,这就是身高的数字表示法。很显然,用数字法表示模拟量是有误差的,取样点越多,量化单位越小,误差就越小。

3. 模拟信号与数字信号

表示模拟量的电信号称为模拟信号。在电路中,模拟信号一般是随时间连续变化的电压或电流,如图 1.1.2 所示的正弦波信号。工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路。表示数字量的电信号称为数字信号。在电路中,数字信号往往表现为突变的电压或电流,如图 1.1.3 所示为一种典型的数字信号。工作在数字信号下的电子电路称为数字电路。

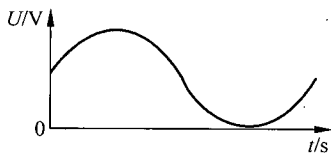


图 1.1.2 典型的模拟信号

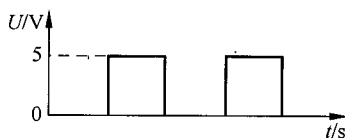


图 1.1.3 典型的数字信号

1.1.2 数字信号的表示法

1. 高、低电平与正、负逻辑体制

图 1.1.3 所示的数字信号只有两个电压值,即 5V 和 0V。人们习惯称之为高电平和低电平,并分别用“1”和“0”来表示。这里的 1 和 0 代表两种对立的状态,称为逻辑 1 和逻辑 0,一般没有大小之分,也称为二值数字逻辑。在实际电路中高电平与低电平都不是一个固定不变的数值,而是一个电压范围。例如在 TTL 电路中,0~0.8V 的电压都算低电平,而 2~5V 的电压都算高电平,如图 1.1.4 所示。数字电路在工作时只要求能可靠的区分“1”和“0”,因此电

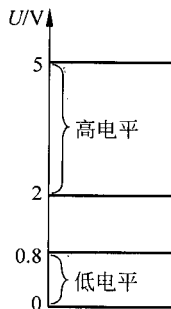


图 1.1.4 高、低电平的电压范围