

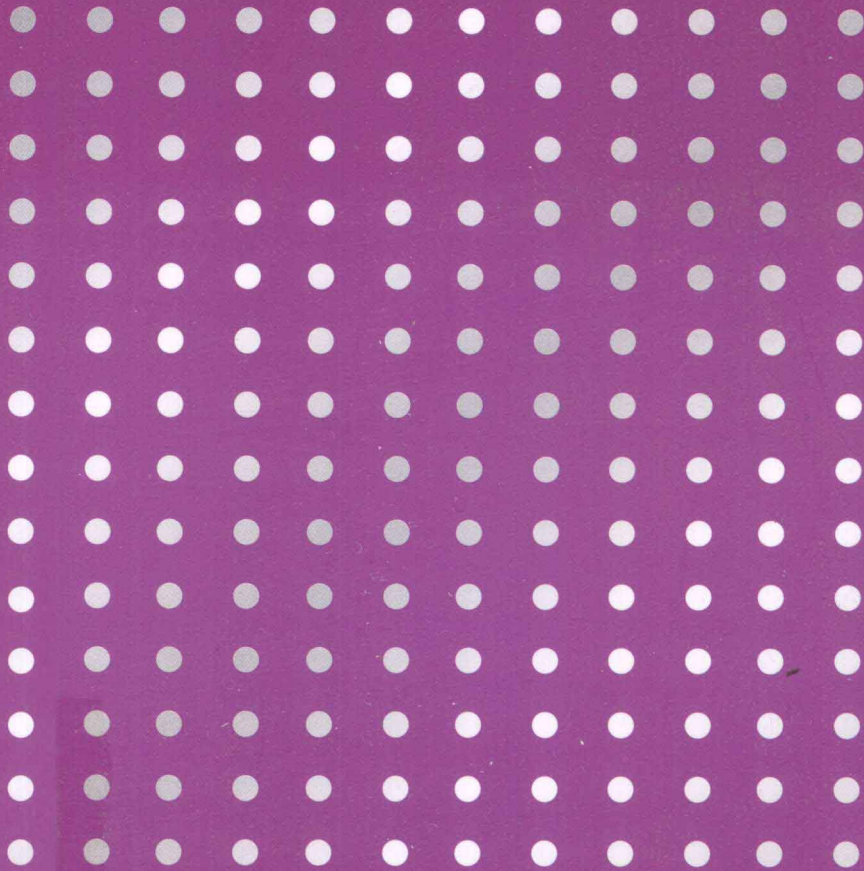


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校信息技术规划教材

# 数字电路逻辑设计 (第2版)

朱正伟 等 编著



清华大学出版社





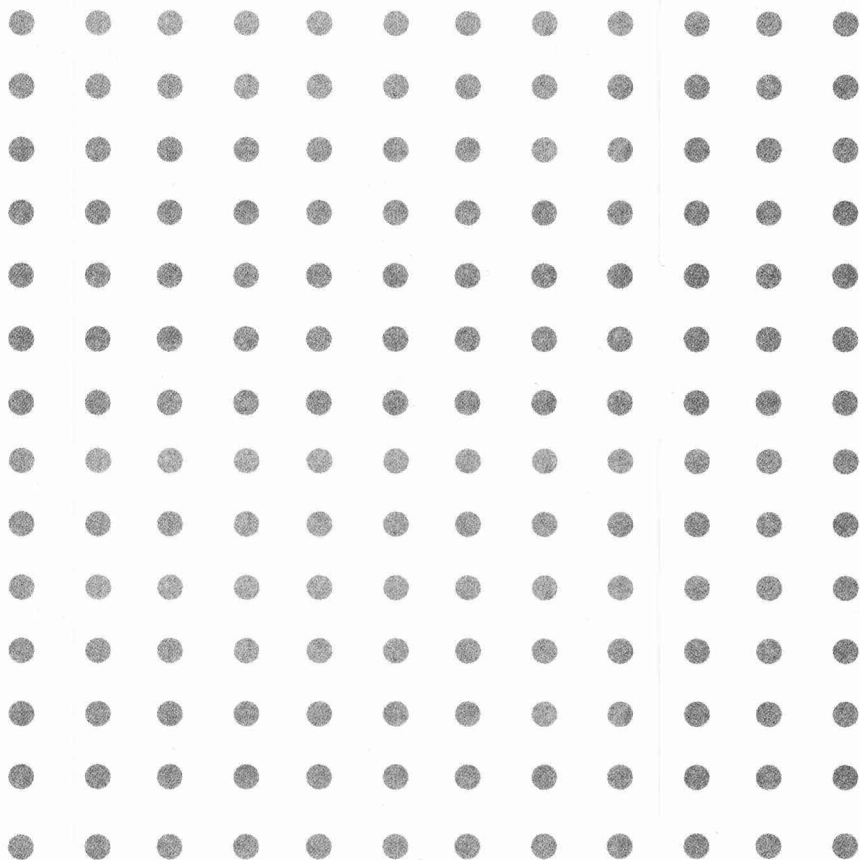
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等院校信息技术规划教材

# 数字电路逻辑设计

## (第2版)

朱正伟 何宝祥 刘训非 吴志敏 编著



清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书结合应用型人才培养目标和教学特点,在内容安排上,以培养应用能力为目的,精选内容,讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法;在叙述中,力求处理好先进性和适用性的关系以及教材内容变化和基础内容相对稳定的关系,适当地抬高起点,注重应用技术的介绍。

全书共分10章,内容涉及数字电路基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、可编程逻辑器件、EDA技术、脉冲波形的产生与变换、D/A和A/D等。

本书内容新颖,通俗易懂,由浅入深,分析与设计方法灵活多样,还配有大量的例题和习题,使读者比较容易接受、掌握和应用。

本书可作为普通高校电类专业和机电一体化等非电类专业的技术基础课教材,也可作为各类高等职业教育有关专业及成人教育等相关课程的教材或教学参考书,或作为相关专业工程技术人员的学习及参考用书。

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

数字电路逻辑设计/朱正伟等编著. —2版. —北京:清华大学出版社,2011.6  
(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-23156-1

I. ①数… II. ①朱… III. ①数字电路—逻辑设计—高等学校—教材  
IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第121393号

责任编辑:袁勤勇 王冰飞

责任校对:时翠兰

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62795954,jsjjc@tup.tsinghua.edu.cn

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

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京四季青印刷厂

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:22.25

字 数:510千字

版 次:2011年6月第2版

印 次:2011年6月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:33.00元

# 第2版前言 *foreword*

本书第1版为国家普通高等教育“十一五”规划教材,2007年被评为江苏省高等学校精品教材。本书在第1版的基础上,按照教育部电子电气基础课程教学指导分委员会修订的课程教学基本要求,总结提高、修改增删而成。教材编写时编著者提出了以下的修订思路:精选内容,讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法;力求处理好先进性和适用性的关系以及教材内容变化和基础内容相对稳定的关系;适当地抬高起点,注重应用技术的介绍。教材主要做了以下改进工作:

(1) 从本课程的目的和任务出发,在保证打好基础的前提下,精选了内容,适当精简了器件内部的物理过程。

(2) 改写了第1~3章的大部分内容,同时在保证EDA技术完整性的基础上对第8章进行了适当的压缩。

(3) 参考国内、外优秀教材,并总结近年教学体会,增加了部分新的内容,特别是增加了工程应用方面的一些实例,便于读者更深入理解教材内容。

(4) 重新整理并增删了各章所附的习题,帮助学生加深对课程内容的理解,以使学生在深入掌握课程内容的基础上扩展知识。

(5) 每一章开始时加入了引言部分,起到了承上启下的作用。

参加本书修订工作的有吴志敏(第1、2章)、梁向红(第3章)、陆贵荣(第4章)、林康红(第5章部分内容)、陈江烨(第5章部分内容)、朱正伟(第6~10章),朱正伟负责全书的策划、组织和定稿。

本版内容虽有改进,但由于电子技术发展迅速,加之作者水平有限,错误和疏漏之处在所难免,恳请使用本教材的师生和其他读者予以批评指正,以便不断提高。

编者

2011年1月

# 第 1 版前言

## Foreword

本书是根据“电子技术基础”(电气信息类)课程大纲,结合作者多年的教学经验,为适应我国高等教育的新形势而编写的。

近年来,随着电子技术的快速发展,出现了很多新的分析、设计方法和大量新的器件,特别是大规模逻辑器件的应用,为数字电子系统的设计带来了极大的灵活性。由于大规模逻辑器件可以通过软件编程而对自身的硬件结构和工作方式进行重构,使得硬件设计可以如同软件设计那样方便快捷,这对数字逻辑电路课程的教学提出了新的要求。本书编写的原则是在保证理论完整的基础上,注重实用性和新颖性,重点讲述数字逻辑电路的基本分析方法和设计方法,侧重数字集成电路的逻辑功能和应用,对数字集成电路内部电路的分析做了适当压缩,重点介绍了大规模可编程逻辑器件和 EDA 设计方法。EDA(electronic design automation, 电子设计自动化)技术是现代电子工程领域的一门新技术,它提供了基于计算机和信息技术的电路系统设计方法。EDA 技术的发展和推广应用极大地推动了电子工业的发展。随着 EDA 技术的发展,硬件电子电路的设计几乎可以全部依靠计算机来完成,这样就大大缩短了硬件电子电路设计的周期,从而使制造商可以迅速开发出品种多、批量小的产品,以满足市场需求。EDA 教学和产业界的技术推广是当今世界的一个技术热点,EDA 技术在现代电子工业中不可或缺。在编写过程中,作者力求做到深入浅出、思路清晰、重点突出。

本书共分 10 章。第 1 章介绍了数字逻辑的基本知识;第 2 章介绍了集成门电路的基础知识;第 3 章介绍了组合电路的分析和设计方法;第 4 章对时序逻辑电路中常用的触发器作了介绍;第 5 章介绍了时序逻辑电路的分析和设计方法;第 6 章介绍了存储器的结构和应用;第 7 章对大规模可编程器件的结构原理作了概要介绍;第 8 章介绍了 EDA 设计方法和应用实例,对原理图输入设计方法

和 VHDL 设计方法作了详细介绍；第 9 章对波形的产生和变换作了较为详细的分析；第 10 章讨论了 A/D 和 D/A 的基本原理和实现方法。本书给出了许多实例，希望能够对读者有所帮助。

本书引用了诸多学者和专家的著作和论文中的研究成果，在这里向他们表示衷心感谢。清华大学出版社的许多领导和老师也为本书的出版付出了艰辛的劳动，在此一并表示深深的敬意和感谢。

本书由朱正伟、何宝祥、刘训非主编，朱正伟编写了第 6 章、第 7 章、第 8 章，何宝祥编写了第 1 章、第 2 章、第 3 章，刘训非编写了第 4 章和第 5 章，第 9 章和第 8 章的部分内容由徐煜祥编写，第 10 章和第 7 章的部分内容由符彦惟编写，周重益同志参加了部分章节的编写工作。张敏老师为本书的图表付出了许多辛勤的劳动。

由于数字电子技术发展迅速，加之作者水平有限，时间仓促，错误和疏漏之处在所难免，敬请各位读者不吝赐教。

**编著者**

**2006 年 1 月**



# 目录

# Contents

<b>第 1 章 数字电路基础</b> .....	1
1.1 数字电路概述 .....	1
1.1.1 模拟信号和数字信号 .....	1
1.1.2 数字电路 .....	2
1.2 数制与码制 .....	5
1.2.1 常用记数制 .....	5
1.2.2 数制转换 .....	7
1.2.3 代码和常用码制 .....	9
1.3 逻辑代数的运算 .....	11
1.3.1 逻辑变量与逻辑函数 .....	11
1.3.2 3 种基本逻辑运算 .....	12
1.3.3 复合逻辑运算 .....	13
1.4 逻辑代数的基本定律和基本运算规则 .....	15
1.4.1 逻辑代数的基本定律 .....	15
1.4.2 逻辑代数的基本运算规则 .....	16
1.5 逻辑函数的表示方法及标准形式 .....	17
1.5.1 逻辑函数的表示方法 .....	17
1.5.2 逻辑函数的两种标准形式 .....	19
1.6 逻辑函数的化简 .....	22
1.6.1 逻辑函数的公式化简法 .....	22
1.6.2 逻辑函数的卡诺图化简法 .....	24
1.6.3 具有无关项的逻辑函数及其化简 .....	30
习题 1 .....	32
<b>第 2 章 门电路</b> .....	35
2.1 基本门电路 .....	35
2.1.1 半导体二极管和三极管的开关特性 .....	35

2.1.2	半导体二极管门电路 .....	36
2.1.3	半导体三极管非门电路 .....	38
2.1.4	DTL 门电路 .....	38
2.2	TTL 集成门电路 .....	39
2.2.1	TTL 与非门 .....	39
2.2.2	TTL 与非门的外部特性及其参数 .....	40
2.2.3	其他类型的 TTL 门电路 .....	45
2.2.4	TTL 数字集成电路系列简介 .....	48
2.3	其他类型的双极型集成电路 .....	51
2.3.1	ECL 电路 .....	51
2.3.2	I <sup>2</sup> L 电路 .....	52
2.4	MOS 集成门电路 .....	53
2.4.1	MOS 管的开关特性 .....	53
2.4.2	MOS 反相器 .....	54
2.4.3	其他类型的 MOS 门电路 .....	55
2.4.4	CMOS 逻辑门电路的主要参数 .....	57
2.4.5	CMOS 数字集成电路系列简介 .....	58
2.5	集成门电路的使用 .....	59
2.5.1	TTL 门电路的使用 .....	59
2.5.2	CMOS 门电路的使用 .....	60
2.5.3	门电路的接口技术 .....	61
	习题 2 .....	63
<b>第 3 章</b>	<b>组合逻辑电路 .....</b>	<b>68</b>
3.1	小规模集成电路构成的组合电路 .....	68
3.1.1	组合电路的分析 .....	68
3.1.2	组合电路的设计 .....	71
3.2	中规模集成电路及其应用 .....	75
3.2.1	编码器 .....	75
3.2.2	译码器 .....	79
3.2.3	数据分配器和数据选择器 .....	85
3.2.4	数值比较器 .....	91
3.2.5	加法与减法运算 .....	94
3.3	组合逻辑电路中的竞争-冒险 .....	97
3.3.1	竞争-冒险及产生原因 .....	97
3.3.2	竞争-冒险的判断方法 .....	98
3.3.3	消除竞争-冒险的方法 .....	99
	习题 3 .....	100



<b>第 4 章 触发器</b> .....	105
4.1 基本 RS 触发器 .....	105
4.1.1 电路结构 .....	105
4.1.2 基本工作原理 .....	106
4.1.3 逻辑功能及其描述 .....	106
4.2 同步 RS 触发器 .....	108
4.2.1 同步 RS 触发器的电路结构 .....	108
4.2.2 工作原理 .....	108
4.2.3 逻辑功能及其描述 .....	109
4.2.4 同步触发器的空翻现象 .....	110
4.3 主从触发器 .....	110
4.3.1 主从 RS 触发器 .....	110
4.3.2 主从 JK 触发器 .....	111
4.4 边沿触发器 .....	113
4.4.1 维持-阻塞边沿 D 触发器 .....	114
4.4.2 CMOS 主从结构的边沿触发器 .....	116
4.5 触发器功能的转换 .....	117
4.6 集成触发器 .....	121
4.6.1 集成触发器举例 .....	121
4.6.2 集成触发器的脉冲工作特性和主要指标 .....	123
4.6.3 触发器的应用举例 .....	124
习题 4 .....	127
<b>第 5 章 时序逻辑电路</b> .....	131
5.1 时序逻辑电路概述 .....	131
5.1.1 时序逻辑电路的结构及特点 .....	131
5.1.2 时序逻辑电路的分类 .....	132
5.2 时序逻辑电路的分析 .....	132
5.2.1 时序逻辑电路一般分析步骤 .....	132
5.2.2 同步时序逻辑电路分析举例 .....	133
5.2.3 异步时序逻辑电路分析举例 .....	136
5.3 同步时序逻辑电路的设计 .....	137
5.3.1 同步时序逻辑电路的设计方法 .....	137
5.3.2 一般时序逻辑电路的设计举例 .....	141
5.4 计数器 .....	142
5.4.1 二进制计数器 .....	143

5.4.2	非二进制计数器 .....	150
5.4.3	集成计数器的应用 .....	155
5.5	数码寄存器与移位寄存器 .....	163
5.5.1	数码寄存器 .....	163
5.5.2	移位寄存器 .....	164
5.5.3	集成移位寄存器 74194 .....	167
5.5.4	移位寄存器构成的移位型计数器 .....	168
习题 5	.....	171
<b>第 6 章</b>	<b>半导体存储器 .....</b>	<b>177</b>
6.1	概述 .....	177
6.1.1	半导体存储器的结构 .....	177
6.1.2	半导体存储器的种类 .....	179
6.1.3	半导体存储器的技术指标 .....	179
6.2	随机存取存储器 .....	180
6.2.1	静态存储单元 .....	180
6.2.2	动态存储单元 .....	181
6.2.3	RAM 的操作与定时 .....	181
6.2.4	存储器容量扩展 .....	182
6.3	只读存储器 .....	184
6.3.1	掩膜 ROM .....	185
6.3.2	可编程 PROM .....	186
6.3.3	EPROM .....	186
6.3.4	E <sup>2</sup> PROM .....	186
6.3.5	Flash Memory .....	186
6.3.6	串行 E <sup>2</sup> PROM .....	187
6.3.7	存储器的应用 .....	187
6.4	常用存储器集成芯片简介 .....	188
6.4.1	6116 型 RAM 器简介 .....	188
6.4.2	2764 型 EPROM 简介 .....	189
习题 6	.....	189
<b>第 7 章</b>	<b>可编程逻辑器件 .....</b>	<b>192</b>
7.1	可编程逻辑器件概述 .....	192
7.1.1	PLD 发展历程 .....	192
7.1.2	目前流行可编程器件的特点 .....	193
7.1.3	可编程逻辑器件的基本结构和分类 .....	194

7.1.4	PLD 的表示方法 .....	195
7.2	中小规模 PLD 介绍 .....	196
7.2.1	可编程只读存储器 PROM .....	196
7.2.2	可编程逻辑阵列 PLA .....	196
7.2.3	可编程阵列逻辑 PAL .....	197
7.2.4	通用阵列逻辑 GAL .....	197
7.3	复杂可编程逻辑器件结构与工作原理 .....	199
7.3.1	CPLD 基本结构 .....	199
7.3.2	Altera 公司 MAX7000 系列 CPLD 简介 .....	200
7.4	FPGA 结构与工作原理 .....	205
7.4.1	FPGA 的基本结构 .....	205
7.4.2	Xilinx 公司 XC4000 系列 FPGA 简介 .....	207
7.5	FPGA/CPLD 开发应用选择 .....	209
	习题 7 .....	210
<b>第 8 章</b>	<b>EDA 技术 .....</b>	<b>213</b>
8.1	EDA 概述 .....	213
8.1.1	EDA 技术含义 .....	213
8.1.2	EDA 技术的基本特征和基本工具 .....	214
8.1.3	EDA 的工程设计流程 .....	215
8.2	MAX+Plus II 概述 .....	217
8.2.1	MAX+Plus II 简介 .....	217
8.2.2	软件组成 .....	218
8.2.3	设计流程 .....	219
8.3	原理图输入设计方法 .....	219
8.3.1	原理图编辑流程 .....	219
8.3.2	设计项目的处理 .....	221
8.3.3	设计项目的校验 .....	222
8.3.4	器件编程 .....	223
8.3.5	引脚锁定 .....	224
8.3.6	编程下载 .....	224
8.3.7	设计顶层文件 .....	225
8.4	VHDL 语言的基本结构 .....	225
8.4.1	2 选 1 多路选择器的 VHDL 描述 .....	226
8.4.2	VHDL 程序的基本结构 .....	227
8.4.3	实体 .....	227
8.4.4	结构体 .....	229
8.5	VHDL 语言要素 .....	232

8.5.1	VHDL 文字规则 .....	232
8.5.2	VHDL 数据对象 .....	234
8.5.3	VHDL 数据类型 .....	237
8.5.4	VHDL 操作符 .....	244
8.6	VHDL 顺序语句 .....	248
8.6.1	赋值语句 .....	248
8.6.2	转向控制语句 .....	249
8.6.3	WAIT 语句 .....	256
8.6.4	子程序调用语句 .....	257
8.6.5	返回语句 .....	259
8.6.6	NULL 语句 .....	259
8.7	VHDL 并行语句 .....	259
8.7.1	进程语句 .....	260
8.7.2	并行信号赋值语句 .....	262
8.7.3	块语句结构 .....	264
8.7.4	并行过程调用语句 .....	265
8.7.5	元件例化语句 .....	266
8.7.6	生成语句 .....	268
8.8	VHDL 描述风格 .....	272
8.8.1	行为描述 .....	272
8.8.2	数据流描述 .....	273
8.8.3	结构描述 .....	274
8.9	VHDL 设计举例 .....	275
8.9.1	组合逻辑电路设计 .....	275
8.9.2	时序逻辑电路设计 .....	278
8.9.3	状态机设计 .....	281
8.9.4	系统设计 .....	284
习题 8	.....	288
<b>第 9 章</b>	<b>脉冲波形的产生与变换 .....</b>	<b>290</b>
9.1	集成 555 定时器 .....	290
9.1.1	电路组成及工作原理 .....	290
9.1.2	555 定时器的功能 .....	291
9.2	施密特触发器 .....	293
9.2.1	由门电路组成的施密特触发器 .....	293
9.2.2	集成施密特触发器 .....	294
9.2.3	由 555 定时器组成的施密特触发器 .....	295
9.2.4	施密特触发器的应用 .....	296

9.3	单稳态触发器 .....	297
9.3.1	集成单稳态触发器 .....	298
9.3.2	由 555 定时器组成的单稳态触发器 .....	301
9.3.3	单稳态触发器的用途 .....	302
9.4	多谐振荡器 .....	303
9.4.1	由门电路构成多谐振荡器 .....	303
9.4.2	石英晶体振荡器 .....	304
9.4.3	用施密特触发器构成多谐振荡器 .....	305
9.4.4	由 555 定时器构成多谐振荡器 .....	306
	习题 9 .....	307
<b>第 10 章</b>	<b>D/A 和 A/D .....</b>	<b>311</b>
10.1	D/A 转换器 .....	311
10.1.1	权电阻网络 D/A 转换器 .....	312
10.1.2	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器 .....	313
10.1.3	权电流型 D/A 转换器 .....	314
10.1.4	D/A 转换器的主要技术指标 .....	315
10.1.5	D/A 转换器集成芯片及选择要点 .....	316
10.1.6	集成 DAC 器件 .....	319
10.2	A/D 转换器 .....	320
10.2.1	A/D 转换器的工作原理 .....	320
10.2.2	并行比较型 A/D 转换器 .....	322
10.2.3	逐次比较型 A/D 转换器 .....	324
10.2.4	双积分型 A/D 转换器 .....	326
10.2.5	A/D 转换器的主要技术指标 .....	328
10.2.6	A/D 转换器集成芯片及选择要点 .....	329
10.2.7	集成 ADC 器件 .....	332
	习题 10 .....	333
<b>附录 A</b>	<b>ASCII 码编码表 .....</b>	<b>336</b>
	<b>参考文献 .....</b>	<b>337</b>

# 数字电路基础

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,数字化已成为当今电子技术的发展潮流。数字电路是数字技术的核心,是计算机和数字通信的硬件基础。数字电路包括信号的传送、控制、记忆、计数、产生、整形等内容。数字电路在结构、分析方法、功能、特点等方面均不同于模拟电路。数字电路的基本单元是逻辑门电路,分析工具是逻辑代数,在功能上则着重强调电路输入与输出间的因果关系。数字电路比较简单、抗干扰能力强、精度高、便于集成,因而在自动控制系统、测量设备、电子计算机等领域获得了日益广泛的应用。本章首先介绍数字电路的一些基本概念及数字电路中常用的数制与码制,然后介绍逻辑代数的基本知识。

## 1.1 数字电路概述

### 1.1.1 模拟信号和数字信号

电子电路中的信号可以分为两大类:模拟信号和数字信号。

#### 1. 模拟信号

在自然界的许多物理量中,有一些物理量如温度、压力、声音、质量等都具有一个共同的特点,即它们在时间上是连续变化的,幅值上也是连续取值的。这种连续变化的物理量称为模拟量,表示模拟量的信号称为模拟信号,处理模拟信号的电子电路称为模拟电路。

#### 2. 数字信号

与模拟量相对应的另一类物理量称为数字量。这些信号的变化发生在一系列离散的一瞬间,其值也是离散的,即它们是一系列时间离散、数值也离散的信号。如电子表的秒信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号等。表示数字量的信号称为数字信号,将工作于数字信号下的电子电路称为数字电路。

##### 1) 数字信号的主要参数

数字信号在电路中往往表现为突变的电压或电流,如图 1.1 所示。一个理想的周期

性数字信号,可以用以下几个参数来描绘。

$U_m$ ——信号幅度。它表示电压波形变化的最大值。

$T$ ——信号的周期。信号的频率  $f=1/T$ 。

$t_w$ ——脉冲宽度。它表示脉冲的作用时间。

$q$ ——占空比。它表示脉冲宽度  $t_w$  占整个周期  $T$  的百分比,其定义为

$$q(\%) = \frac{t_w}{T} \times 100\%$$

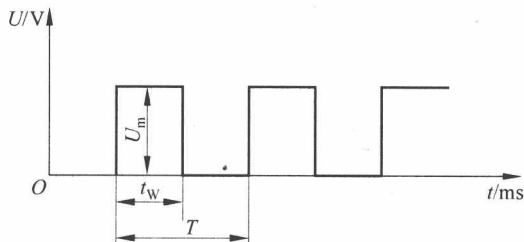


图 1.1 理想的周期性数字信号

## 2) 数字信号的描述方法

模拟信号的表示方法可以是数学表达式,也可以是波形图等。数字信号的表示方法可以用二值数字逻辑以及由逻辑电平描述的数字波形。

在数字电路中,可以用 0 和 1 组成的二进制数表示数量的大小,也可以用 0 和 1 表示两种不同的逻辑状态。当表示数量时,两个二进制数可以进行数值运算,常称为算术运算。当用 0 和 1 描述客观世界存在的彼此相互关联又相互对立的事物时,如是与非、真与假、开与关等,这里的 0 和 1 不是数值,而是逻辑 0 和逻辑 1。这种只有两种对立逻辑状态的逻辑关系称为二值数字逻辑或数字逻辑。

在电路中很方便地用电子器件的开关来实现二值数字逻辑,也就是以高、低电平分别表示逻辑 1 和逻辑 0 两种状态。在表示时有两种逻辑体制,其中正逻辑体制规定高电平为逻辑 1,低电平为逻辑 0;负逻辑体制规定低电平为逻辑 1,高电平为逻辑 0。

在分析实际数字电路时,考虑的是信号之间的逻辑关系,只要能区别出表示逻辑状态的高、低电平,可以忽略高、低电平的具体数值。例如,一类 CMOS 器件的电压范围与逻辑电平之间的关系是:当信号电压在 3.5~5V 范围内,都表示高电平;在 0~1.5V 范围内,都表示低电平。这些表示数字电压的高、低电平,通常称为逻辑电平。应当注意,逻辑电平不是物理量,而是物理量的相对表示。

图 1.2 为用逻辑电平描述的数字波形,其中图 1.2(a)所示的逻辑 0 表示低电平,逻辑 1 表示高电平。图 1.2(b)为 16 位数据的波形。通常在分析一个数字系统时,由于电路采用相同的逻辑电平标准,一般可以不标出高、低电平的电压值,时间轴也可以不标。

## 1.1.2 数字电路

数字电路又称数字系统,它是用数字信号完成对数字量进行算术运算和逻辑运算的电路。由于它具有逻辑运算和逻辑处理功能,所以又称数字逻辑电路。



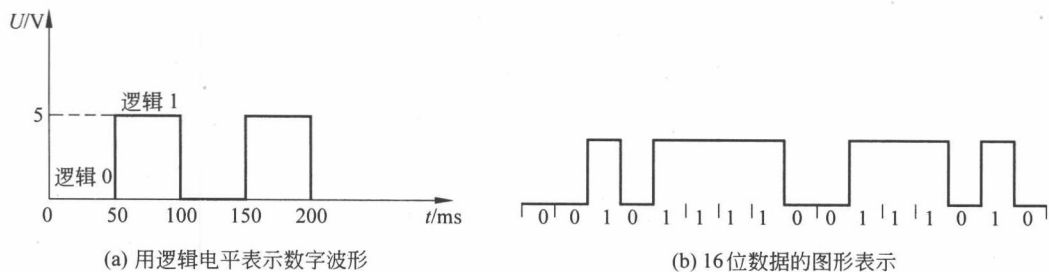


图 1.2 数字波形

## 1. 数字电路的分类

电子电路按功能可分为模拟电路和数字电路。根据分类方法的不同,数字电路可分为以下几类。

### 1) 按电路类型分类

按电路类型可以分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两种,其特点如下:

(1) 组合逻辑电路。组合逻辑电路的特点是输出只与当时的输入有关,电路没有记忆功能,输出状态随着输入状态的变化而变化,如编码器、加减法器、比较器、数据选择器等都属于此类。

(2) 时序逻辑电路。时序逻辑电路的特点是输出不仅与当时的输入有关,还与电路原来的状态有关。它与组合逻辑电路最本质的区别在于时序电路具有记忆功能,类似于含储能元件的电感或电容的电路,如触发器、计数器、寄存器等电路都是时序电路的典型器件。

### 2) 按集成电路规模的大小分类

数字电路的发展历史与模拟电路一样,经历了由电子管、半导体分立器件到集成电路的过程。由于集成电路的发展非常迅速,很快占据主导地位,因此,数字电路主流形式是数字集成电路。

根据集成电路规模的大小,数字集成电路通常分为小规模集成(Small Scale Integration, SSI)电路、中规模集成(Medium Scale Integration, MSI)电路、大规模集成(Large Scale Integration, LSI)电路、超大规模集成(Very Large Scale Integration, VLSI)电路和甚大规模集成(Ultra Large Scale Integration, ULSI)电路。它们的具体含义如下:

(1) 小规模集成(SSI)电路。小规模集成电路通常指含逻辑门个数小于10门(或含元件数小于100个)的电路,典型集成电路有逻辑门、触发器等。

(2) 中规模集成(MSI)电路。中规模集成电路通常指含逻辑门数为10~99门(或含元件数100~999个)的电路,典型集成电路有计数器、加法器等。

(3) 大规模集成(LSI)电路。大规模集成电路通常指含逻辑门数为100~9999门(或含元件数1000~99999个)的电路,典型集成电路有小型存储器、门阵列等。

(4) 超大规模集成(VLSI)电路。超大规模集成电路通常指含逻辑门数为10000~99999门(或含元件数100000~999999个)的电路,典型集成电路有大型存储器、微处理

器等。

(5) 甚大规模集成(ULSI)电路。甚大规模集成电路通常指含逻辑门数大于  $10^6$  门(或含元件数大于  $10^7$  个)的电路,典型集成电路有可编程逻辑器件、多功能专用集成电路等。

### 3) 按所采用的半导体类型分类

按所采用的半导体类型可以分为双极型电路和单极型电路两种,其具体含义如下:

(1) 双极型电路。双极型电路采用双极型半导体器件作为元件。双极型集成电路又可分为 TTL(Transistor Transistor Logic)电路、ECL(Emitter Coupled Logic)电路和 I<sup>2</sup>L(Integrated Injection Logic)电路等类型。其中 TTL 电路的“性能价格比”最佳,应用最广泛。

(2) 单极型电路。单极型电路采用金属-氧化物半导体场效应管(简称为 MOS 管)作为元件。MOS 集成电路又可分为 PMOS、NMOS 和 CMOS 等类型。其中 CMOS 电路应用较普遍,因为它不但适用于通用逻辑电路的设计,而且综合性能最好。

## 2. 数字电路的优点

数字电路与模拟电路相比,主要有下列优点:

(1) 由于数字电路是以二值数字逻辑为基础的,只有 0 和 1 两个基本数字,易于用电路来实现,比如可用二极管的导通与截止这两个对立的状态来表示数字信号的逻辑 0 和逻辑 1。

(2) 由数字电路组成的数字系统工作可靠,精度较高,抗干扰能力强。它可以通过整形很方便地去除叠加于传输信号上的噪声与干扰,还可利用差错控制技术对传输信号进行查错和纠错。

(3) 数字电路不仅能完成数值运算,而且能进行逻辑判断和运算,这在控制系统中是不可缺少的。

(4) 数字信息便于长期保存,比如可将数字信息存入磁盘、光盘等长期保存。

(5) 数字集成电路产品系列多、通用性强、成本低。

由于具有一系列优点,数字电路在电子设备或电子系统中得到了越来越广泛的应用,计算机、计算器、电视机、音响系统、视频记录设备、光碟、长途电信及卫星系统等,无一不采用了数字系统。

## 3. 数字电路的分析、设计与测试

### 1) 数字电路的分析方法

数字电路在电路结构、功能和特点等方面均不同于模拟电路,主要研究对象是电路的输出与输入之间的逻辑关系,因而,数字电路的分析方法与模拟电路完全不同,所采用的分析工具是逻辑代数,表达电路输出与输入的关系主要用真值表、功能表、逻辑表达式或波形图。

随着计算机技术的发展,借助计算机仿真软件,可以更直观、更快捷、更全面地对电路进行分析。不仅可以对数字电路,而且可以对数模混合电路进行仿真分析;不仅可以