



普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
高职高专机电类专业规划教材

SHUZI DIANZI JISHU JI YINGYONG

SHUZI DIANZI JISHU JI YINGYONG

# 数字电子技术 及应用

■ 王成安 毕秀梅 主编

第2版



赠电子课件  
习题解答等



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高职高专机电类专业规划教材

# 数字电子技术及应用

第 2 版

主 编 王成安 毕秀梅  
参 编 郭 辉 王 超



机械工业出版社

本书从高职教育的角度,秉承“教学工厂”的先进理念,以全新的角度介绍现代电子技术的基础知识,以基础知识为引导,突出介绍电子技术的新发展、新器件、新电路、新技术、新工艺,特别注重实践应用,贴近岗位技能需要。为方便教学与学生自学,在每章首写有本章导言,章末有本章小结、动手做、实用资料、自测与练习。

全书共分9章,内容包括数字逻辑电路基础、集成组合逻辑电路、触发器与555集成时基电路、常用集成时序逻辑电路、集成数模转换器和模数转换器、可编程逻辑器件及其应用、VHDL基础、开关型稳压电源与实际电路分析和数字电子技术的应用实例。

本书可作为高职电子信息类专业、应用电子技术专业、电类其他专业电子技术基础课教材,还可供从事电子技术的工程技术人员参考。

为方便教学,本书备有电子课件、习题解答和模拟试卷等,凡选用本书作为教材的学校均可来电索取。咨询电话:010-88379375。

## 图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术及应用/王成安,毕秀梅主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2009.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高职高专机电类专业规划教材.

ISBN 978-7-111-26572-6

I. 数… II. ①王…②毕… III. 数字电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第037295号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:于宁 责任编辑:王宗锋 版式设计:霍永明

责任校对:陈立辉 封面设计:马精明 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2009年6月第2版第1次印刷

184mm×260mm·13.5印张·331千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26572-6

定价:23.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)68354423

封面防伪标均为盗版

# 前 言

《现代电子技术基础》(上、下册)是为高职院校的电子信息类专业(含应用电子技术专业)编写的教材,于2006年被评选为“普通高等教育‘十一·五’国家级规划教材”。考虑到与很多院校所开设课程的名称相对应,所以此次再版,将书名改为《模拟电子技术及应用》和《数字电子技术及应用》,并且在内容方面做了比较大的修改,删掉了一些与现在高职教育不适应的知识,增加了近几年来电子技术的新知识、新技术和新器件,将电子技术的许多应用实例作为教学内容加以介绍和讲解。

但我们仍然要清醒地认识到,随着电子技术的飞速发展使得将电子技术简单划分为模拟电子和数字电子两部分已无法涵盖现代电子技术所需的基础知识,也不适应高职教育对电子技术基础教学的要求。比如大家熟悉的时基电路555就是模拟电路与数字电路的有机结合,很难将其划分为是模拟电子还是数字电子;现在正在兴起的D类放大器,晶体管工作在开关状态,输入和输出的却是模拟信号;实际的电子电路中几乎无一不包含各种传感器件和各种负载,而传统的电子技术基础却只讲中间的电路部分,形成有中间无首尾的状况;由于电子技术的发展非常迅速,各种新器件、新电路、新技术、新工艺如雨后春笋般涌现,电子技术基础的教材必须及时反映出这些新进展,与时俱进,才能胜任现代电子技术基础的教学任务。特别是在大规模集成电路被广泛应用的今天,电子技术正朝着专用电子集成电路(ASIC)方向、硬件和软件合为一体的电子系统(CPLD和FPGA)方向发展,以硬件电路设计为主的传统设计方法,正向着充分利用器件内部资源和外部引脚功能的设计方法转化。正是从适应高职教学和现代电子技术基础的实际需要出发,我们编写了这本教材,力图解决上述矛盾,反映新知识和新技术,介绍新器件和新电路,体现新思路和新方法,更好地为高职教育服务。

根据高等教育培养目标的要求,高职层次培养的人才必须具有大学专科的理论基础,并具有较强的本专业职业技能。高职教育培养的人才是面向生产第一线的技术型人才。这类人才不同于将学科体系转化为图样和设计方案的工程技术人员,而主要是如何把方案和图样转化为实物和产品的实施型高级技术人才,因此课程的教学内容必须要按照培养目标来制定。只有培养学生思考、会学习、会应用,才能使培养出的高职学生适应飞速发展的社会要求。

本书在力求保证基础、掌握基本概念的基础上,注重集成电路以及新器件、新电路的应用,在编写中着重于理论联系实际。我们编写的目标是:

1) 电子技术是一门专业基础性质的课程,既要有知识的连续性,又要有知识的先进性,所以在内容的安排上,除了包含有模拟电子和数字电子的基本内容外,增加了电子技术的发展和应用实例,将数字电子技术的最新进展——可编程逻辑器件的知识也介绍给大家。考虑到直流稳压电源在电子技术中的重要性,专门为其设立了一章。对于这些知识的处理,不是讲不讲,而是怎样讲的问题。要遵循循序渐进的原则,由浅入深,深入浅出,由历史到现代,使电子技术教材的内容跟上时代的发展步伐。

2) 在知识的讲解上,以“必须”和“够用”为原则。对典型电路进行分析时,不做过



于繁杂的理论推导；对于电子器件着重介绍其外部特性和主要参数，重点放在其使用方法和实际应用上；对分立元器件组成的电路尽可能精简，明确分立元器件为集成电路服务的方向；对精选的集成电路主要介绍最新器件的型号、特点和典型应用。

3) 从高职的培养目标出发，本书在内容的安排上突破了传统的顺序，以章为段，以便更好的配合教学的进度和时数；在每章的章首安排了本章导言以引导学生进入本章的学习，在每章的章末安排有本章小结，归纳出本章的知识重点；在每章都精心设计了自测与练习，以方便教师和学生对本章的学习效果进行检查；更有特色的是，结合各章的知识内容，精心安排了“动手做”、“新资料”、“新技术”、“新工艺”等内容，为学生提供了花钱少、取材方便、容易制作、有实用价值的电子电路和一些不容易查找的新资料，相信会对提高学生的电子技术技能和开拓学生的视野有所帮助，为学生迈入电子世界的大门起到引路的作用。

本教材可作为普通高职、普通高校大专班的电子信息类专业(含应用电子技术专业)电子技术基础课教材，还可供中等专业学校或普通高校本科有关专业或从事电子技术的工程人员参考。

本书由辽宁省 2003 年高等教育精品课主讲人——辽宁机电职业技术学院王成安教授和毕秀梅副教授任主编。王成安制定了编写大纲，撰写了前言、绪论，编写了第 1、2 章和附录，并对全书进行统稿。毕秀梅编写了第 3、4、5、6 章，新疆高等专科学校的郭辉编写了第 7、8 章，安徽机电职业技术学院的王超编写了第 9 章。

无锡商业职业技术学院童建华教授从高职教育的角度出发，仔细审阅了全书，对全书提出了很多宝贵的意见和建议。对书后所列参考书籍和资料的各位作者，编者表示深深的感谢。

尽管我们在现代电子技术基础教材的建设方面做了许多努力，但由于编者水平所限，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，在取材新颖性和实用性等方面定有诸多不足，敬请兄弟院校的师生和广大读者给予批评和指正。我们衷心盼望本书能对有志于从事电子技术应用事业的读者有所帮助。请您把对本书的意见和建议告诉我们，以便修订时改进。所有意见和建议请寄往：

E-mail: wang-ca420@sohu.com      联系电话: 0415-2533489

编 者

# 目 录

## 前言

绪论..... 1

## 第1章 数字逻辑电路基础..... 3

本章导言..... 3

1.1 数字系统中的计数体制和编码 ... 3

1.1.1 二进制数 ..... 3

1.1.2 八进制数 ..... 3

1.1.3 十六进制数 ..... 3

1.1.4 不同进制数的相互转换 ..... 4

1.1.5 二进制数的四则运算 ..... 5

1.1.6 代码、编码与二进制码 ..... 5

1.2 逻辑代数基础 ..... 7

1.2.1 逻辑变量和基本逻辑运算 ..... 7

1.2.2 逻辑代数中的基本定律 ..... 11

1.2.3 逻辑代数的基本规则 ..... 12

1.3 逻辑函数的化简 ..... 14

1.3.1 逻辑函数的表示方法 ..... 14

1.3.2 逻辑函数的最小项表达式 ..... 16

1.3.3 逻辑函数的公式法化简 ..... 17

1.3.4 用卡诺图化简逻辑函数 ..... 18

1.3.5 具有无关项的逻辑函数的化简 ... 21

1.4 基本逻辑门电路 ..... 21

1.4.1 数字电路概述 ..... 22

1.4.2 半导体开关器件 ..... 23

1.4.3 逻辑门电路 ..... 24

1.4.4 集成门电路 ..... 25

本章小结 ..... 29

动手做：用与非门制作的触摸  
式延时开关 ..... 29

自测与练习 ..... 30

## 第2章 集成组合逻辑电路 ..... 34

本章导言 ..... 34

2.1 组合逻辑电路的分析与设计 ..... 34

2.1.1 组合逻辑电路的分析方法 ..... 34

2.1.2 组合逻辑电路的设计方法 ..... 35

2.2 集成组合逻辑器件 ..... 36

2.2.1 编码器 ..... 37

2.2.2 译码器 ..... 40

2.2.3 数据选择器 ..... 45

2.2.4 数值比较器 ..... 47

2.2.5 加法器 ..... 49

2.3 集成存储器 ..... 52

2.3.1 半导体存储器的概念 ..... 52

2.3.2 只读存储器 ..... 52

2.3.3 可编程只读存储器 ..... 52

2.3.4 可擦除可编程的只读存储器 ..... 53

本章小结 ..... 53

动手做：一位十进制数码显示器 ..... 53

实用资料：常用国标和国外逻辑  
电路符号对照表 ..... 53

自测与练习 ..... 54

## 第3章 触发器与555集成时基电路 ... 56

本章导言 ..... 56

3.1 触发器的基本电路 ..... 56

3.1.1 基本RS触发器 ..... 56

3.1.2 同步触发器 ..... 58

3.1.3 集成触发器 ..... 62

3.2 触发器的转换 ..... 66

3.2.1 JK触发器转换成D触发器 ..... 66

3.2.2 JK触发器转换成T、T'触发器 ... 66

3.2.3 D触发器转换成T、T'触发器 ... 67

3.3 用555构成数字电路的三种  
最基本电路 ..... 67

3.3.1 555时基电路的内部结构  
及其功能分析 ..... 68



3.3.2	555 时基电路构成三种最基本的数字电路	69	本章导言	101	
3.4	555 集成时基电路的扩展应用	71	5.1	模数转换器	101
3.4.1	单稳态触发器的应用	71	5.1.1	A/D 转换的基本步骤	101
3.4.2	多谐振荡器的应用	72	5.1.2	ADC 的基本原理	102
3.4.3	施密特触发器的应用	73	5.1.3	ADC 的主要技术指标	105
3.4.4	556 双时基集成电路	74	5.2	集成模数转换器	106
本章小结		75	5.2.1	ADC0809 主要性能	106
动手做: 用 555 构成的全自动 点火器		76	5.2.2	ADC0809 引脚功能	107
自测与练习		77	5.2.3	ADC0809 的典型应用	107
<b>第 4 章 常用集成时序逻辑电路</b>		<b>81</b>	5.3	数模转换器	108
本章导言		81	5.3.1	T 形电阻网络型 D/A 转换器	108
4.1	时序逻辑电路概述	81	5.3.2	倒 T 形电阻网络型 D/A 转换器	109
4.1.1	时序逻辑电路的组成	81	5.3.3	D/A 转换器的主要技术指标	110
4.1.2	时序逻辑电路的分类	81	5.4	集成数模转换器	111
4.1.3	时序逻辑电路的分析方法	81	5.4.1	DAC0832 的主要性能	111
4.2	集成寄存器	82	5.4.2	DAC0832 的引脚功能	111
4.2.1	数码寄存器	82	本章小结		113
4.2.2	移位寄存器	83	动手做: 集成低功耗数显温度计的 设计与制作		113
4.3	计数器的分析	87	自测与练习		114
4.3.1	计数器概述	87	<b>第 6 章 可编程逻辑器件及其应用</b>		<b>116</b>
4.3.2	同步计数器的分析	87	本章导言		116
4.3.3	异步计数器的分析	90	6.1	可编程逻辑器件概论	116
4.4	集成计数器	93	6.2	通用可编程逻辑器件(GAL)	119
4.4.1	74LS161 集成计数器	93	6.2.1	GAL 的特点与分类	119
4.4.2	用 74LS161 构成任意进制的 计数器	94	6.2.2	GAL 的电路结构和工作原理	119
4.4.3	74LS192 集成计数器	94	6.3	复杂可编程逻辑器件(CPLD)	122
4.4.4	74LS192 的应用	95	6.3.1	CPLD 的基本结构	122
本章小结		96	6.3.2	CPLD 的主要特点	123
动手做: 可逆循环彩灯控制器		96	6.3.3	CPLD 的开发环境	123
新技术和新器件: 快速闪存技术 与 U 盘		97	6.3.4	CPLD 的应用实例	124
自测与练习		97	6.4	现场可编程逻辑器件(FPGA)	124
<b>第 5 章 集成数模转换器和模数 转换器</b>		<b>101</b>	6.4.1	FPGA 的结构	124
			6.4.2	FPGA 的产品介绍及主要应用	125
			6.5	可编程逻辑器件的编程软件 和编程器	126
			6.5.1	可编程逻辑器件的开发软件	



MAX + PLUS II .....	127	8.2.1 并联型开关稳压电源的组成 .....	168
6.5.2 可编程逻辑语言 .....	127	8.2.2 并联型开关稳压电源的工作原理 .....	168
6.5.3 PLD 器件的设计流程 .....	128	8.2.3 并联型开关稳压电源的应用 .....	169
6.5.4 编程器简介 .....	128	8.3 串联型开关稳压电源及其应用 .....	170
本章小结 .....	129	8.3.1 串联型开关稳压电源的组成 .....	170
实用资料: Altera 公司的 MAX9000		8.3.2 串联型开关稳压电源的工作原理 .....	170
系列产品性能一览表 .....	130	8.3.3 串联型开关稳压电源的应用 .....	170
自测与练习 .....	130	8.4 开关变压器型稳压电源及其应用 .....	171
<b>第7章 VHDL 基础</b> .....	132	8.4.1 单管式直流变换器 .....	172
本章导言 .....	132	8.4.2 推挽式直流变换器 .....	173
7.1 VHDL 概述 .....	132	8.4.3 桥式直流变换器电路 .....	174
7.1.1 VHDL 的特点及应用 .....	132	8.5 脉宽调制控制型集成电路 .....	175
7.1.2 VHDL 所需要的软件环境 .....	132	8.5.1 由 MC3520 构成的开关电源 .....	175
7.1.3 VHDL 的基本结构 .....	133	8.5.2 由 UC3842 构成的开关电源 .....	176
7.1.4 VHDL 文本输入设计流程 .....	134	8.6 实际开关稳压电源电路分析 .....	178
7.2 VHDL 的程序结构 .....	135	8.6.1 松下 DVD—A300 型影碟机电源电路 .....	178
7.2.1 实体 .....	135	8.6.2 长虹 2588 型彩色电视机的电源电路 .....	180
7.2.2 结构体 .....	136	8.6.3 富丽 FV—55 型 VCD 电源电路 .....	180
7.2.3 程序包、库及配置 .....	143	本章小结 .....	182
7.2.4 VHDL 的常用语句 .....	145	实用资料: PWM 集成电路 .....	182
7.3 VHDL 的数据类型及运算操作符 .....	155	新技术: 交流输入电压为 85 ~ 270V 的直流稳压电源 .....	183
7.3.1 VHDL 的数据类型 .....	155	自测与练习 .....	184
7.3.2 VHDL 的运算操作符 .....	157	<b>第9章 数字电子技术的应用实例</b> .....	185
7.4 实际电路的设计举例 .....	161	应用 1 八路智力竞赛抢答器的制作 .....	185
7.4.1 基本门电路的设计 .....	161	应用 2 图书馆借阅人数自动统计电路 .....	186
7.4.2 4 位 BCD 译码器的设计 .....	163	应用 3 用 555 集成时基电路制作触摸和声控双功能延时灯 .....	186
本章小结 .....	165	应用 4 555 集成时基电路的应用设计 .....	187
自测与练习 .....	166	应用 5 多路竞赛抢答器的设计与安装调试 .....	189
<b>第8章 开关型稳压电源与实际电路分析</b> .....	167		
本章导言 .....	167		
8.1 开关型稳压电源的组成与特点 .....	167		
8.1.1 开关型稳压电源的组成 .....	167		
8.1.2 开关型稳压电源的特点 .....	167		
8.1.3 开关型稳压电源的分类 .....	168		
8.2 并联型开关稳压电源及其应用 .....	168		





应用 6	交通信号控制系统的设计与 安装调试 .....	192	附录 A	74 × × × 系列集成电路 逻辑功能速查表 .....	201
应用 7	数字电子钟的设计与安装 调试 .....	197	附录 B	常用 MOSFET 的主要 参数 .....	205
附录	.....	201	参考文献	.....	206

# 绪 论

世纪交替，风云际会。世界正在受到新科技革命浪潮的冲击，科学技术正处在历史上最伟大的变革时期。在 20 世纪为人类生产和生活条件的改善做出巨大贡献的电子技术，仍然充当着新世纪高新技术的领头羊。电子技术的发展历史很短，迄今不过百年，却从根本上改变了世界的面貌。纵观电子技术的发展历程，炎黄子孙将感到振兴中华的责任重大而迫切，中国的科学技术面临着国情的挑战，面临着世界的挑战，面临着 21 世纪的挑战。

电子技术的发展大致可分为三个阶段。20 世纪 20 ~ 40 年代为第一阶段，以电子管为标志，由此促使了电子工业的诞生，发展了无线电广播和通信产业。1946 年诞生的世界上第一台电子计算机(美国制造,名为 ENIAC)可以认为是这个阶段的典型代表和终极产品。虽然它的运算速度只有 5000 次/s，却是一个重为 28t、体积为 85m<sup>3</sup>、占地 170m<sup>2</sup> 的庞然大物。它由 18000 个电子管组成，耗电 150kW，其内部的连线总长可以绕地球 20 圈。

1948 年，第一只半导体晶体管的问世，标志着电子技术第二阶段的开始，掀起了电子产品向小型化、大众化和高可靠性、低成本进军的革命风暴。半导体进入电子领域，促进了无线广播电视和移动通信的高度发展，使得计算机的小型化变为现实，导致了人造地球卫星遨游太空。电子产品逐渐由科研和军用领域向民用领域普及，极大地改善了人们的生活质量。

到 20 世纪 70 年代，集成电路的使用已经不再新奇，电子技术步入了第三个发展阶段。正是在这个阶段，电子技术飞速发展，各种电子产品如雨后春笋般涌现，世界进入了空前繁荣的电子时代。电子计算机朝着大型化和微型化发展，其使用领域由科研转向工业及各个行业，自动控制、智能控制得以真正实现，航天工业得到前所未有的发展。随着制造工艺的提高，在一块 36mm<sup>2</sup> 的硅片上制造 100 万个晶体管已经不是梦想。1999 年美国英特尔公司宣布，其生产的奔腾 4 CPU，在一块芯片上集成了 2975 万个晶体管，使微型机的运算速度远远超过以往的大型计算机。掌上电脑已经问世，移动通信已发展到全球通，数字式 CDMA 通信技术已非常成熟，手机已不再是奢侈品。笔记本电脑正在把人们的工作地点从办公室里解放出来。家用电器基本普及，人们的生活质量大幅提高，中国古代传说中的“千里眼”和“顺风耳”都在电子技术的发展过程中变成现实。人们可以“上九天揽月”，能够“下五洋捉鳖”。2003 年，人类将高度智能化的火星探测器送上火星，研制成功了可用于修补大脑的集成电路芯片，量子计算机的基本电路也研制成功。这一切都有赖于电子技术的巨大成就。可以预料，在新的世纪里，电子技术仍将高速发展，其所能达到的水平和发展速度，无论你怎么想像都不过分。

我国的电子工业在解放前基本上是空白。新中国成立后，在一大批归国科学家的引领下，于 1956 年自主生产出第一只半导体晶体管，1965 年生产出第一块集成电路，1983 年研制出银河 I 型亿次机，标志着中国的计算机行业迈入了巨型机的行列。1992 年我国又研制出十亿次银河计算机，1995 年研制成功的曙光 1000 型并行处理计算机，其运行速度可达 25 亿次/s。2003 年，曙光 4000L 百万亿数据处理超级服务器研制成功，每秒峰值速度达到 6.75



万亿次。我国的电子工业从无到有，从小到大，虽然起步晚，但起点高，现在我国家用电器的产量已居世界第一，质量提高也很快。神州系列载人飞船的成功发射和回收，标志着我国在空间技术领域已跃居世界前列。这些成就的取得，电子技术功不可没。尽管如此，我国在电子核心元器件的生产和高级电子产品等方面，与发达国家相比还有较大差距。努力缩小差距，赶超世界先进水平，这正是历史赋予我们这一代人的光荣使命。

电子技术的知识范围很广，其分支也很多，有些分支已发展成为一门独立的学科，如计算机、单片机、晶闸管、可编程序控制器等，但这些学科的知识基础仍然是电子技术。

从对信号的处理方式上来分，电子技术可分成模拟电子技术和数字电子技术。模拟电子技术是研究使用硅、锗等半导体材料做成的电子器件组成的电子电路，对连续变化的电信号（如正弦波）进行控制、处理的应用科学技术。如我们日常生活中使用的固定电话、收音机、电视机等，都属于模拟电子技术应用的产品。数字电子技术是研究处理二值数值信号的应用科学技术。像VCD机、DVD机、数码照相机、数码摄像机和计算机都是数字电子技术应用的典型产品。现代电子技术的发展，已经将模拟电子技术和数字电子技术融为一体，在一个电路甚至是一个芯片中，将模拟信号和数字信号同时进行处理，比如移动通信所使用的手手机，就是将语音这样的模拟信号进行数字化处理后再发射出去。

从电子技术所包含的内容上来分，电子技术可以分成电子元器件和电子电路两部分。在电子元器件这部分内容中，主要研究各种电子元器件的结构、特点、主要参数和生产工艺，其设计和制造属于电子技术的一个重要领域，但不在本书的研究范围内。电子电路是把电子元器件按照对电信号处理的要求进行一定的连接，以实现预定的功能，它的种类很多，过去是将其分成模拟电路和数字电路分别进行阐述，现在已不能简单地将其划分为哪一部分了。

高等职业院校电类专业的学生都必须学习现代电子技术基础这门课，这是电子技术入门性质的课程。这本教材将把现代电子技术中最需要的基础内容加以阐述，当然也要涉猎到一些电子技术在生产和生活方面的实际应用。我们要学习现代电子技术中的基本概念和基本原理，学习基本的电子电路和新型的电子电路，掌握电子电路的分析方法，认识和使用电子技术中常用的电子元器件和新型元器件，要学习现代电子电路设计的新思想和新方法，了解现代电子技术的新工艺和新技术，还要学习电子电路中常用的传感器件，学会读电子电路图，这样才能比较扎实地掌握电子技术基础，为学习电子技术专业课打下良好的基础。

电子技术是一门实践性很强的课程，我们要在学习理论的基础上，多参与实践，通过做电子实验和参加电子实训，学习和掌握电子技术方面的基本技能。同学们通过学习电子技术要达到四会：会认识和检测常用电子元器件、会认识和分析常用基本电子电路、会焊接和安装小型电子电器产品、会调试和维护小型电子系统。通过实践你会发现，电子技术就在你的身边，学习电子技术，会激起你的极大兴趣，会给你带来无穷的欢乐。让我们共同遨游在电子世界的海洋里，为社会的发展和进步，为人类生活的更加美好，做一名合格的建设者。同时，你也会分享到社会进步带给你的幸福。

# 第 1 章

## 数字逻辑电路基础



**本章导言** 当今社会已经进入了数字时代，而数字时代是建立在数字电子技术的基础之上的。数字电子技术在近三十年来得到了飞速发展，已经渗透到了各个领域，极大地改变了世界的面貌。为什么数字电子技术有如此大的魔力？数字电子技术都有哪些奥妙？让我们先来认识一下逻辑代数，它虽然是一门有着近两百年历史的数学学科，却是指导和设计数字电路的理论基础和强大工具，领略了逻辑代数的基本知识后，你会发现，原本枯燥无味的数字竟然也如此奇妙。逻辑代数将为你开启一扇分析和设计数字电路的大门，在此基础上发明的逻辑电路将带你迈进数字电子世界的殿堂。

### 1.1 数字系统中的计数体制和编码

在日常生产生活中，人们已经习惯了使用十进制的计数体系，而在电子电路系统中，二进制计数体系将更加方便和实用。数制是计数体制的简称，在电子技术领域常用到的数制除了二进制外，还有八进制和十六进制。这些数制所用的数字符号叫做数码，某种数制所用数码的个数称为基数。

#### 1.1.1 二进制数

常用的十进制数，由 0、1、2、…、9 共 10 个数码组成，十进制数数制的基数为十。数的组成从左向右由高位到低位排列，计数时“逢十进一，借一当十”。数码在不同的位置上，其代表的数值不同，称之为“位权”，或简称为“权”。

二进制数只有两个数码，用 0 和 1 表示，两个数码按一定的规律排列起来，可以表示数值的大小，其计数规律是“逢二进一，借一当二”。二进制数数制的基数是二。

例如  $(1011)_2$  这个四位二进制数，它可以写成

$$(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

它们是从低位到高位依次排列，低位在右，高位在左。

#### 1.1.2 八进制数

八进制数有 0~7 共 8 个数码，基数为八，计数时“逢八进一，借一当八”。其组成也是从左向右由高位到低位排列，每一位的位权值为 8 的整数次幂。八进制数按位权展开的方法与二进制数相同，例如  $(371)_8$  这个三位八进制数，它可以写成：

$$(371)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 1 \times 8^0$$

#### 1.1.3 十六进制数

十六进制数比二进制数和八进制数的位数少，因此在现代计算机技术中得到广泛使用。



十六进制数有 0~9 和 A、B、C、D、E、F 共 16 个数码，基数为十六，计数时“逢十六进一，借一当十六”。数的组成也是从左向右由高位到低位排列，每一位的位权值为 16 的整数次幂。例如  $(3FA2)_{16}$  这个四位十六进制数，它可以写成：

$$(3FA2)_{16} = 3 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 2 \times 16^0$$

### 1.1.4 不同进制数的相互转换

有了权的概念，就能够很容易地将不同进制的数进行相互转换。

#### 1. 二进制数和十进制数的相互转换

欲将二进制数转换成十进制数，只要将二进制数中为 1 的那些位的权相加，所得的值就是它所对应的十进制数。例如将二进制数  $(1011)_2$  转换成十进制数，可写成：

$$(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 8 + 2 + 1 = (11)_{10}$$

欲将十进制数换算为二进制数，可采用“除二取余法”。即将十进制数连续除以 2，直至整数商为零。十进制数被 2 相除时，每次所得的余数非 1 即 0，将余数由下到上依次排列，就得到相应的二进制数。例如：

	余数	
2	29	… 1      低
2	14	… 0      位
2	7	… 1      ↑
2	3	… 1      高
2	1	… 1      位
	0	

结果为： $(29)_{10} = (11101)_2$

#### 2. 十六进制、八进制数和十进制数的相互转换

将十六进制、八进制数转换成十进制数的方法和将二进制数转换成十进制数的方法相似，只需将十六进制数或八进制数的各位数码与该位位权的乘积求和，例如将十六进制数  $(4A5F)_{16}$  转换成十进制数，可写成：

$$(4A5F)_{16} = 4 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 5 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = (19039)_{10}$$

将八进制数  $(247)_8$  转换成十进制数，可写成：

$$(247)_8 = 2 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = (167)_{10}$$

将十进制数转换成十六进制、八进制数的方法和将十进制数转换成二进制数的方法相似，只需将十进制数分别除以十六或除以八再取余，一直除到整数商为零为止。第一次得到的余数为最低位。

#### 3. 二进制数和十六进制、八进制数的相互转换

由于十六进制数的基数为  $16 = 2^4$ ，因此一个四位二进制数就相当于一个一位十六进制数。所以将二进制数转换成十六进制数的方法是，将一个二进制数从低位向高位，每四位分成一组，每组对应转换成一一位十六进制数。例如：

$$(100110111)_2 = (137)_{16}$$

八进制数的基数为  $8 = 2^3$ ，因此一个三位二进制数就相当于一个一位八进制数，所以将



二进制数转换成八进制数的方法是，将一个二进制数从低位向高位，每三位分成一组，每组对应转换成一位八进制数。例如：

$$(100110111)_2 = (467)_8$$

将十六进制数转换成二进制数的方法，是从高位向低位开始，将每一位十六进制数转换成四位二进制数。

将八进制数转换成二进制数的方法，是从高位向低位开始，将每一位八进制数转换成三位二进制数。例如：

$$(A19)_{16} = (101000011001)_2$$

$$(712)_8 = (111001010)_2$$

### 1.1.5 二进制数的四则运算

和十进制数一样，二进制数也能进行四则运算。

加法运算规则为：

$$0 + 0 = 0 \quad 0 + 1 = 1 \quad 1 + 0 = 1 \quad 1 + 1 = 10$$

乘法运算规则为：

$$0 \times 0 = 0 \quad 0 \times 1 = 0 \quad 1 \times 0 = 0 \quad 1 \times 1 = 1$$

减法和除法为加法和乘法的逆运算。举例如下：

加法	减法	乘法	除法
$\begin{array}{r} 1110 \\ + 1011 \\ \hline 11001 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1011 \\ - 101 \\ \hline 110 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1101 \\ \times 101 \\ \hline 1101 \\ 0000 \\ \hline 1101 \\ \hline 100001 \end{array}$	$\begin{array}{r} 11 \\ 110 \overline{)10010} \\ \underline{110} \\ 110 \\ \underline{110} \\ 0 \end{array}$

要特别注意，在加法运算中， $1 + 1 = 10$ ，即逢二进一。在减法运算中，当某位被减数小于减数时，要向相邻高位借位，则借一当二。

### 1.1.6 代码、编码与二进制码

在数字系统中，常常采用一定位数的二进制码来表示各种图形、文字、符号等特定信息，通常称这种二进制码为代码。所有的代码都是用二进制数码“0”和“1”的不同组合构成，但在这里的二进制数并不表示数值的大小，而是仅仅表示某种特定信息。 $n$ 位二进制数码有 $2^n$ 种不同的组合，可以代表 $2^n$ 种不同的信息。建立这种代码与图形、文字、符号或特定对象之间一一对应关系的过程，就称为编码。下面介绍几种常见的二进制码。

#### 1. BCD 码

BCD 码是用四位二进制数来表示一位十进制数。由于四位二进制数有 16 种不同的状态组合，而十进制数只有 0~9 共 10 个数码，所以只需选择其中的 10 种状态组合，就可以实现编码。从 16 种组合中选择 10 种组合有多种方案，所以 BCD 码有多种编码方案。表 1-1 所示为 0~9 这 10 个数码的几种不同的编码方案。



表 1-1 几种常用的 BCD 码

十进制数	8421 码	5421 码	2421 码	余三码
0	0000	0000	0000	0011
1	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0010	0101
3	0011	0011	0011	0110
4	0100	0100	0100	0111
5	0101	1000	1011	1000
6	0110	1001	1100	1001
7	0111	1010	1101	1010
8	1000	1011	1110	1011
9	1001	1100	1111	1100

8421BCD 码是一种最基本最常用的编码，它是一种有权码，其中“8421”是指在这种编码中，代码从高位到低位的位权值分别为 8、4、2、1，用 8421BCD 代码对十进制数进行编码，正好和十进制数的各位数字分别用四位二进制数表示出来相吻合。例如要将十进制数  $(57)_{10}$  用 8421BCD 代码来表示，就是

$$(57)_{10} = (0101\ 0111)_{8421BCD}$$

虽然在一组 8421BCD 代码中，每位的位权值与四位二进制数的位权值相同，但二者的意义是完全不同的，一个是代码，一个是数值。在 8421BCD 代码中，每一组的四位数之间是二进制关系，组与组之间却是十进制的关系。

## 2. 可靠性代码

各种二进制代码在形成和传输的过程中难免会产生错误，为了减少代码的差错，或在代码出现差错时能及时得到发现和纠正，就必须采用可靠性代码。常用的可靠性代码有格雷码和奇偶校验码。

(1) 格雷码 格雷码是一种无权码，其编码方案很多。典型的格雷码如表 1-2 所示，其特点是任意两组相邻的代码(包括首、尾两个码组)之间只有一位码不同，其余各位的码都相同，因此格雷码是一种循环码。格雷码的这种特性使它在形成和传输的过程中，产生的错误很容易被检测出来，从而减少了误差。

表 1-2 典型的格雷码与 8421BCD 码的比较

十进制数	8421BCD 码	格雷码	十进制数	8421BCD 码	格雷码
0	0000	0000	5	0101	0111
1	0001	0001	6	0110	0101
2	0010	0011	7	0111	0100
3	0011	0010	8	1000	1100
4	0100	0110	9	1001	1101

(2) 奇偶校验码 奇偶校验码是可以检测出代码中有一位码发生错误的代码。它由两部分组成：一部分是需要传输的信息位，它是位数不限的二进制代码；另一部分是奇偶校验位，它仅有一位，排在每组代码的最低位。其编码方式有两种：使整个代码中“1”的个数



总和为奇数的,称为奇校验;使得“1”的个数总和为偶数的,称为偶校验。接收方对接收到的奇偶校验码进行检测,若每组代码中“1”的个数与约定的不相符,则此组代码为错误。表1-3所示为8421BCD码的奇偶校验码。

表1-3 8421BCD码的奇偶校验码

十进制数	带奇校验的8421BCD码		带偶校验的8421BCD码	
	信息位	校验位	信息位	校验位
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0

## 1.2 逻辑代数基础

逻辑代数又称为布尔代数,是英国数学家乔治·布尔在19世纪中叶首先提出的,它是用于描述客观事物之间逻辑关系的数学方法。逻辑代数是研究逻辑电路的数学工具。

### 1.2.1 逻辑变量和基本逻辑运算

#### 1. 逻辑变量

在数字电路中,经常遇到电平的高与低、脉冲的有与无、灯泡的亮与暗、开关的通与断等现象,这类现象都存在着相互对立的两种结果。这种相互对立的逻辑关系,可以用仅有两个取值(0和1)的变量来表示,这种二值变量称为逻辑变量。

逻辑代数与普通代数相比,都用字母 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $\dots$ 、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 来表示变量,但在逻辑代数中的变量,其取值范围只有“0”和“1”,而且“0”和“1”并不表示具体的数量大小,而是表示两种相互对立的逻辑状态。例如,可以用“1”表示开关接通,用“0”表示开关的断开;用“1”表示灯亮,用“0”表示灯暗;用“1”表示高电平,用“0”表示低电平等,这与普通代数截然不同。

#### 2. 基本的逻辑运算

所谓逻辑,是指事物本身的规律,即事物的条件与结果之间的因果关系。最基本的逻辑关系有三种,分别叫作“与”逻辑、“或”逻辑和“非”逻辑。在逻辑代数里有三种最基本的逻辑运算,即:“与”运算、“或”运算和“非”运算。

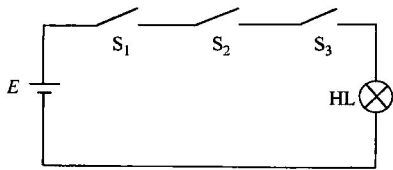
(1) 与逻辑和与运算 当决定某事件的全部条件同时具备时,事件才会发生,这种因果关系称为“与”逻辑,如图1-1a所示,只有当开关 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 全部闭合时(全部条件同



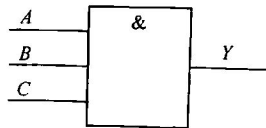


时具备), 灯 HL 才能点亮(事件发生)。分别用  $Y$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $C$  代表灯 HL 以及开关  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  的状态, 用  $Y$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $C$  表示的与的逻辑符号如图 1-1b 所示。

将逻辑变量之间的逻辑关系用列表的形式表示出来, 称为真值表。表 1-4 所示为三变量的与逻辑的真值表。



a) 由开关组成的与逻辑电路



b) 与的逻辑符号

表 1-4 与逻辑的真值表

输入			输出
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

图 1-1 与逻辑的示意电路和逻辑符号

与逻辑关系可以用口诀概括为：“有 0 出 0，全 1 出 1”。

和与逻辑关系相对应的逻辑运算称为与运算。与运算可以用逻辑表达式来表示, 即

$$Y = A \cdot B \cdot C \quad (1-1)$$

式(1-1)与普通代数的乘法式子相似, 故逻辑与又称作逻辑乘, 又常常写作:  $Y = ABC$ 。读作  $Y$  等于  $A$  与  $B$  与  $C$ 。与运算的运算规则如下

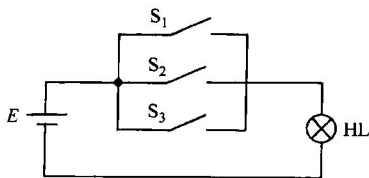
$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

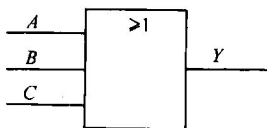
$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

(2) 或逻辑和或运算 在决定某事件的条件中, 只要任一条件具备, 事件就会发生, 这种因果关系称为或逻辑。如图 1-2a 所示, 只要开关  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  中有一个闭合(任一条件具备), 灯 HL 就会点亮(事件就发生)。同样以  $Y$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $C$  代表灯 HL 以及开关  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$  的状态。



a) 由开关组成的或逻辑电路



b) 或的逻辑符号

表 1-5 或逻辑的真值表

输入			输出
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

图 1-2 或逻辑的示意电路和逻辑符号

或逻辑关系也可以用列真值表的形式表示出来。表 1-5 所示为三变量的或逻辑真值表。或逻辑可以用口诀概括为：“有 1 出 1，全 0 出 0”。

和或逻辑关系对应的逻辑运算称为或运算, 也称为逻辑和。式(1-2)是或逻辑的表达式, 读作  $Y$  等于  $A$  或  $B$  或  $C$ 。