

21
世纪

21世纪高职高专系列教材

数字电子技术

中国机械工业教育协会 组编



机械工业出版社
China Machine Press

21 世纪高职高专系列教材

数 字 电 子 技 术

中国机械工业教育协会 组编

主 编 大连理工大学 唐志宏
副主编 厦门大学 林育兹
甘肃工业大学 张爱华
参 编 天津职工工业技术学院 王漆平
金华职业技术学院 唐金花
洛阳工学院 田 葳
金华职业技术学院 王成福
主 审 江苏理工大学 成 立



机 械 工 业 出 版 社

本书是由中国机械工业教育协会组织统一编写的面向 21 世纪高职高专系列教材中的一本。

全书共分 8 章, 主要讲述了数字逻辑基础、集成逻辑门、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器和可编程逻辑器件、定时和整形电路、数模及模数转换等。

本书由具有丰富教学和科研经验的高校教师编写。在编写内容的安排上, 除主要针对高等职业教育的特点和要求外, 还考虑到不同专业、不同层次的教学需要。同时, 精选了典型实例, 精心设计了例题和复习思考题。

本书可作为高等职业技术学院、职大、夜大、成人教育学院、自学考试等大专层次的“脉冲与数字电路”或“数字逻辑电路”课程的教材, 也可做为普通高校本、专科的教学参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术/中国机械工业教育协会组编. —北京:
机械工业出版社, 2001.6

21 世纪高职高专系列教材

ISBN 7-111-08401-2

I. 数… II. 中… 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 (2001) 第 038131 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 郑文斌 版式设计: 霍永明 责任校对: 孙志筠

封面设计: 姚毅 责任印制: 郭景龙

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm × 1240mm A5 · 9.5 印张·279 千字

0 001 ~ 4 000 册

定价: 18.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

21 世纪高职高专系列教材编委会名单

编委会主任 中国机械工业教育协会 郝广发

编委会副主任 (单位按笔画排)

山东工程学院 仪垂杰

大连理工大学 唐志宏

天津大学 周志刚

甘肃工业大学 路文江

江苏理工大学 杨继昌

成都航空职业技术学院 陈玉华

编委会委员 (单位按笔画排)

广东白云职业技术学院 谢瀚华

山东省职业技术教育师资培训中心

邹培明

上海电机技术高等专科学校 徐余法

天津中德职业技术学院 李大卫

天津理工学院职业技术学院 沙洪均

日照职业技术学院 李连业

北方交通大学职业技术学院 佟立本

辽宁工学院职业技术学院 李居参

包头职业技术学院 郑刚

北京科技大学职业技术学院 马德青

北京建设职工大学 常莲

北京海淀走读大学 成运花

江苏理工大学 吴向阳

合肥联合大学 杨久志

机械工业出版社 陈瑞藻 (常务)

沈阳工业大学 李荣德

河北工业大学 檀润华

武汉船舶职业技术学院 郭江平

金华职业技术学校 余党军

同济大学 孙章

机械工业出版社 李超群

余茂祚 (常务)

沈阳建筑工程学院 王宝金

佳木斯大学职业技术学院 王跃国

河北工业大学 范顺成

哈尔滨理工大学工业技术学院 线恒录

洛阳大学 吴锐

洛阳工学院职业技术学院 李德顺

南昌大学 肖玉梅

厦门大学 朱立秒

湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪

彭城职业大学 陈嘉莉

燕山大学 刘德有

序

1999年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议，作出了“关于深化教育改革，全面推进素质教育的决定”的重大决策，强调教育在综合国力的形成中处于基础地位，坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育，培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力，适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此，教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议，进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务；以适应社会需要为目标；以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案；以“应用”为主旨和特征来构建课程和教学内容体系；高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要，即用人的需求；教材可以“一纲多本”，形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人，教材先行”，教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求，中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本（书目附书后）已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制（总学时1600~1800）、兼顾2年制（总学时1100~1200）的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的，以必需、够用为度，以讲清概念、强化应用为重点；专业课加强了针对性和实用性，强化了实践教学。为了扩大使用面，在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的，但每本教材又有各自的独立性。因此各地区院校可根据自己的教学特

点进行选择使用。

为了提高质量，真正编写出有显著特色的 21 世纪高职高专系列教材，组织编写队伍时，采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿，以便实践教学和理论教学能相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一，在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验，出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材，在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合 21 世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

前 言

本书是由中国机械工业教育协会面向 21 世纪高职高专系列教材编写委员会组织编写的教材之一。本书由具有丰富教学和科研经验的高校教师编写,力图通过精心组织的教学内容,精选的典型实例,精心设计的例题和复习思考题,并贯彻“舍旧增新,重点应用”的编写原则,以期满足“加强三基,突出能力培养”的目的和要求,为学生分析问题和解决问题的能力打下一定基础。

本书内容分为 3 部分:数字逻辑、定时与整形电路和数模与模数转换,其中重点是数字逻辑部分。在编写内容的安排上,除主要针对高等职业教育的特点和要求外,还考虑到不同专业、不同层次的教学需要,讲授时可根据需要自行选择使用,并不失课程的系统性和完整性。

本书绪论、第 1 章、附录由唐志宏编写,第 2 章由王滦平编写,第 3 章由张爱华编写,第 4、5 章由林育兹编写,第 6 章由唐金花编写,第 7 章由田葳编写,第 8 章由王成福编写。全书由唐志宏统稿。

本书由江苏理工大学成立主审。

在本书的编写过程中,先后得到了机械工业教育协会、机械工业出版社和许多老师的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、职工大学、业余大学、夜大学、函授大学、成人教育学院、高等教育自学考试等大专层次的“脉冲与数字电路”或“数字逻辑电路”课程教材,主要面向计算机、电工与电子、电气等专业,参考教学学时为 60~72 学时。本书还可作为普通高校本、专科教学的参考书,或是作为具有中等以上文化程度的工程技术人员、科研人员的自学读物。

由于编写水平所限，书中难免会存在不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2000 年 10 月

目 录

绪论	1
第 1 章 数字逻辑基础	6
1.1 数制与代码	6
1.1.1 数制	6
1.1.2 数制间的转换	8
1.1.3 有符号的二进制数	12
1.1.4 二进制代码	15
1.2 基本逻辑运算和逻辑门	18
1.2.1 基本逻辑运算	18
1.2.2 基本逻辑门电路	20
1.2.3 复合逻辑运算及其逻辑门	23
1.2.4 正逻辑和负逻辑	25
1.3 逻辑函数及逻辑代数公式	26
1.3.1 逻辑函数	26
1.3.2 逻辑代数基本公式和常用公式	27
1.4 逻辑函数标准表达式	30
1.4.1 最小项	30
1.4.2 逻辑函数标准表达式	31
1.5 逻辑函数化简	32
1.5.1 逻辑函数化简的意义	32
1.5.2 代数化简法	34
1.5.3 卡诺图化简法	35
1.5.4 逻辑函数的 Q-M 化简法	40
1.6 逻辑函数的门电路实现	42
1.6.1 两级与或逻辑电路	43
1.6.2 两级与非逻辑电路	43
1.6.3 两级或非逻辑电路	44

1.6.4 与或非逻辑电路	45
复习思考题	46
第2章 集成逻辑门	52
2.1 TTL 数字集成电路	52
2.1.1 基本 TTL 与非门	52
2.1.2 TTL 电路特性及性能参数	53
2.1.3 TTL 集电极开路门和三态门	58
2.2 MOS 数字集成电路	61
2.2.1 MOS 管及其开关特性	61
2.2.2 CMOS 逻辑电路	62
2.3 逻辑门的应用	67
2.3.1 门电路的应用	67
2.3.2 TTL 与 CMOS 电路间的联接	68
2.3.3 数字集成电路的实际应用	70
复习思考题	72
第3章 组合逻辑电路	75
3.1 组合逻辑电路的分析和设计	75
3.1.1 组合逻辑电路的特点	75
3.1.2 组合逻辑电路的分析	75
3.1.3 组合逻辑电路的设计	77
3.2 加法器	79
3.2.1 半加器	79
3.2.2 全加器	80
3.2.3 4 位二进制加法器	81
3.3 数值比较器	85
3.4 算术逻辑单元	88
3.5 编码器	90
3.5.1 二进制编码器	90
3.5.2 二十进制编码器	91
3.5.3 优先编码器	92
3.6 译码器	94

3.6.1	二进制译码器	94
3.6.2	二-十进制译码器	95
3.6.3	显示器和字形译码器	97
3.6.4	译码器的应用	100
3.7	数据分配器和数据选择器	101
3.7.1	数据分配器	101
3.7.2	数据选择器	102
3.7.3	应用举例	104
3.8	组合电路的竞争与冒险	105
3.8.1	竞争和冒险现象	105
3.8.2	竞争和冒险的判断	107
3.8.3	竞争和冒险的消除	107
	复习思考题	108
第4章	触发器	112
4.1	基本 RS 触发器	112
4.1.1	与非门构成的基本 RS 触发器	112
4.1.2	或非门构成的基本 RS 触发器	114
4.2	时钟触发器	115
4.2.1	时钟 RS 触发器	116
4.2.2	D 触发器	118
4.2.3	JK 触发器	119
4.3	集成触发器	121
4.3.1	电平触发器	121
4.3.2	主从触发器	122
4.3.3	边沿触发器	124
4.3.4	触发器的异步输入端	130
4.4	触发器小结	132
	复习思考题	134
第5章	时序逻辑电路	138
5.1	概述	138
5.2	时序逻辑电路分析	139

5.2.1 时序逻辑电路功能表示方法	139
5.2.2 同步时序电路分析	141
5.2.3 异步时序电路分析	145
5.3 计数器	147
5.3.1 计数器的分类	147
5.3.2 二进制同步计数器	149
5.3.3 十进制计数器	160
5.4 寄存器	165
5.4.1 锁存器	166
5.4.2 数据寄存器	167
5.4.3 移位寄存器	169
5.5 时序逻辑电路的设计	173
复习思考题	182
第6章 半导体存储器和可编程逻辑器件	186
6.1 半导体存储器	186
6.1.1 概述	186
6.1.2 只读存储器 (ROM)	186
6.1.3 随机存取存储器 (RAM)	196
6.1.4 顺序存取存储器 (SAM)	203
6.2 可编程逻辑器件 (PLD)	204
6.2.1 概述	204
6.2.2 可编程逻辑阵列 (PLA)	206
6.2.3 可编程阵列逻辑 (PAL)	209
6.2.4 通用阵列逻辑 (GAL)	214
复习思考题	224
第7章 定时和整形电路	226
7.1 振荡器	226
7.1.1 多谐振荡器	226
7.1.2 单稳态触发器	228
7.1.3 石英晶体多谐振荡器	232
7.2 555 定时电路	233

7.2.1	555 定时电路	233
7.2.2	555 组成多谐振荡器	234
7.2.3	555 组成单稳态触发器	236
7.3	集成振荡器	237
7.3.1	TTL 集成单稳态触发器	237
7.3.2	CMOS 集成振荡器	239
7.4	施密特整形电路	242
7.4.1	施密特整形电路	242
7.4.2	集成施密特整形电路	243
7.4.3	施密特整形电路的应用	243
复习思考题		244
第 8 章 数模和模数转换		247
8.1	概述	247
8.1.1	A/D 和 D/A 转换	247
8.1.2	转换关系及数字编码	248
8.1.3	转换器主要技术指标	250
8.2	数字-模拟转换器 (DAC)	252
8.2.1	二进制权电阻 DAC	252
8.2.2	T 形电阻网络 DAC	253
8.2.3	集成 DAC 及应用	255
8.3	模拟-数字转换器 (ADC)	260
8.3.1	概述	260
8.3.2	反馈式 ADC	261
8.3.3	积分式 ADC	264
8.3.4	并行比较式 ADC	266
8.3.5	集成 ADC0809	267
复习思考题		268
参考答案		271
附录 《电气图用图形符号二进制逻辑单元》简介		282
参考文献		289

绪 论

当今世界，科学技术的发展日新月异，但令人感受最为直接、最为深刻的还是信息技术的迅猛发展。计算机这一以往科技人员手中名贵的工具，现在正悄悄进入普通百姓的家庭。目前广泛应用的 CD、VCD、DVD、多媒体、因特网（Internet）、万维网（WWW）、电子邮件（E-mail）等等，无不在改变人们的工作方式、学习方式，甚至生活方式，有人说，世界已进入数字经济时代。信息技术的迅猛发展掀起新时代的数字革命，数字经济时代的一切信息将数字化，而信息的数字化使一切都可以虚拟化，所有这些都是与数字技术或数字化技术密不可分的。

一、数字技术和数字系统

数字电子技术是一门新兴的电子电路技术学科。按照电路信号形式的不同，通常将电子电路分为模拟电路（即模拟电子技术）和数字电路（即数字电子技术）两大类。模拟电路是接收和处理模拟信号的电路，模拟信号是在时间和幅值上都连续变化的信号，例如正弦波、音频信号、视频信号等等。数字电路是接收和处理数字信号的电路，数字信号是在时间和幅值上都不连续，并取一定离散数值的信号，通常是由数字 0 和 1，也可以说是由低电平电信号和高电平电信号组成的信号，例如计算机中的信号、IC 卡中的信号、VCD 和 DVD 中的信号等等。数字技术就是通过变换电路把模拟信号变成由 0 和 1 组成的数字信号，然后由数字系统对数字信号进行存储、运算、处理、变换、合成等，以适应和满足不同的应用需要。

接收和处理数字信号的系统是数字系统，最典型的数字系统就是计算机。数字系统具有如下几个优点。

（1）数字系统具有较小的误差。因为数字系统中的信号只有两种离散取值，远要比模拟信号的连续取值更容易区分，所以数字系统很

少出现错误。即使出现错误，数字系统对错误的检测和修正也是比较容易和简单的。另外，相对来说，模拟电路对元件参数的变化比较敏感，而数字电路中的元件工作于开关状态，对元件参数变化不太敏感，因此，数字系统有更高的可靠性和稳定性。

(2) 数字系统具有更高的精确性。数字系统可以通过增加表示信息的变量个数来增加信息处理的精确性，而模拟系统的精确性却仅取决于元件的精确性。

(3) 数字系统不但适用于数值信息的处理，而且适用于非数值性信息的处理，而模拟系统却只能处理数值性信息。

(4) 数字系统处理信息可将一项大任务划分为多项独立的子任务，并且这些子任务能被按顺序分别完成，这样可以形成模块化和成本较低的系统。

(5) 数字系统处理信息可以采用通用的信息处理系统（比如计算机）来处理不同的任务，从而减少专门系统的成本。

(6) 随着微电子技术的发展，可以以更低成本和更高的性能来开发更复杂的数字系统（即大规模、超大规模数字集成电路）。尽管模拟系统集成化的开发成本在不断下降，性能也在不断增强，但由于基本数字器件的简单性，还是数字系统集成化发展更为迅速。

随着数字技术和微电子技术的不断发展，采用数字系统来处理模拟信号将会越来越普遍。

二、数字逻辑和逻辑代数

数字电路与模拟电路之间，除了接收和处理的信号不同之外，还有一个主要区别就是输出和输入之间表达的关系不同。模拟电路输出和输入之间表达的是一种数值关系，而数字电路输出和输入之间表达的是一种因果关系，即逻辑关系。因此，数字电路也称逻辑电路，或称数字逻辑电路。

在数字电路中，输出和输入变量都是只有两种状态的逻辑变量。逻辑变量的两种状态分别是状态为真和状态为假，通常用数字 1 表示真，用数字 0 表示假。逻辑变量的取值只能在数字 0 和 1 中选择，而不能有第三种取值。数字电路中基本的逻辑关系（或称逻辑运算）有

逻辑与、逻辑或和逻辑非，由这三种基本逻辑运算可以组成多种复合逻辑运算。实现逻辑运算的电路，称为逻辑门。逻辑门是组成数字电路的最小单元。数字逻辑电路根据功能和结构特点不同，可划分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路完全是由逻辑门构成的，不包含有存储器件。数字逻辑电路的存储功能是由存储器件完成的，最基本的存储器件是触发器。时序逻辑电路是包含有存储器件的电路。在数字电路实际应用中，通常既包括组合电路，也包括时序电路。

逻辑代数是分析和设计数字逻辑电路的数学工具，也称为布尔代数、开关代数。早期的数字系统，比如拨号电话系统，是由继电器的通断状态构成的开关网络系统。开始，开关网络的设计是采用直觉的试验方式进行的。但是，当系统的容量比较大时，这种凭人们直觉的试验，使系统实现既费时又不规范。1938年，工作在美国贝尔电话实验室的数学家、现代信息理论的创始人克劳德·山农，提出了用于分析和设计开关网络的开关代数。开关代数实际上是将近百年前英国数学家和逻辑学家乔治·布尔创立的布尔代数直接运用于开关电路的结果，也就是将前面提及的与、或、非逻辑运算应用于开关电路的分析和设计。尽管开关代数仅是布尔代数的一种特殊情况，即二值的布尔代数，但是大多数人还是习惯使用术语“布尔代数”。目前，一般情况下所提的布尔代数、逻辑代数都是指开关代数，而不是早期的布尔代数。

布尔在1854年发表的《思维的规律》中，把公元前300年的希腊哲学家亚里士多德提出的逻辑概念，简化为代数符号，并用于描述人们语言表达的复杂逻辑关系。这种对语言逻辑符号的描述是非常重要的。山农的开关代数在逻辑上将人们对电路的复杂和意义不确切的文字描述转换为简洁和明了的数学描述——逻辑表达式，将原来仅停留在数学涵义上的布尔代数应用于工程实际。这个理论是非常有意义的，因为它由此揭开了开关网络系统（即数字系统分析和设计）的新篇章，同时也奠定了计算机逻辑设计的理论基础。从1939年到1944年，历时五年，一台名为Mark I的电子机械计算机在美国哈佛大学问世。此后，在1946年，世界上第一台由电子真空管构成的电子数

字计算机 ENIAC 在美国宾夕法尼亚大学诞生。

三、数字集成电路

数字技术的发展离不开一项新的高科技支柱技术，这就是微电子技术。微电子技术中最主要的就是集成电路技术，这项技术不仅使电子设备和系统微型化，而且引起系统设计、工艺、封装等方面的巨大变革。集成电路（简称 IC）的发展可追溯到晶体管的问世。1947 年美国电话电报公司（AT&T）贝尔实验室的三位科学家在一块小小的硅片上制成第一个晶体管，开始了以晶体管取代电子管的时代。随着晶体管的广泛应用和晶体管制造工艺的发展，1958 年出现了第一块集成电路，它将组成电路的元器件和连线都像制造晶体管那样做在一小块硅片上。初期的集成电路仅能在一个尺寸很小的芯片上制造十几个或几十个晶体管，现在已发展到一个小芯片上包含有几百万个元件的集成电路。

集成电路分为模拟集成电路和数字集成电路，目前发展比较迅猛的是数字集成电路。通常，将集成 100 个晶体管以下的集成电路称为小规模集成电路（简称 SSI），将集成 100~1000 个晶体管的集成电路称为中规模集成电路（简称 MSI），将集成 1000~10000 个晶体管的集成电路称为大规模集成电路（简称 LSI），而将集成 10000 个晶体管以上的集成电路称为超大规模集成电路（简称 VLSI）。

20 世纪 70 年代是集成电路飞速发展的年代，这个年代出现了 8 位微处理器芯片，例如，1971 年第一片微处理器问世。这个年代是大规模集成电路的年代，这时集成电路可能是一个复杂的功能部件，也可能是一台整机（如单片微型计算机）。80 年代则是超大规模集成电路的年代，集成度已超过 10 万。IBM—PC 机的微处理器（即中央处理单元 CPU）Intel 8088 在 1979 年问世，以后相继出现了 Intel 80186、80286，1985 年出现了 32 位的 386 处理器，1989 年出现 486 处理器。

集成电路从出现到今天仅有 40 余年的时间，但其发展速度却是惊人的，它对生产和生活的影响也是非常深远的。1946 年世界上第一台电子数字计算机 ENIAC，占地 150m²，重 30 多吨，耗电几百千