



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

Shuzi
DianZi JiShu

数字电子技术

■ 主 编 龙治红 谭本军
■ 副主编 黄华飞

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



普通高等教育“十二五”创新型规划教材

S huzi

DianZi JiShu

数字电子技术

■ 主 编 龙治红 谭本军
■ 副主编 黄华飞



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据数字电子技术教学大纲要求及编者多年教学、科研和工程实践经验,以实用、能用为目的,注重综合应用能力的培养而编写。编写中,围绕培养目的,不断总结规律,将课程内容进行归纳并口决化。为加速知识向能力的转化,本书对数字逻辑电路常用的集成电路进行了比较详细地讲解,系统地介绍了数字逻辑电路的分析和设计方法。此外,每章给出了大量不同难度的例题、练习题及知识小结,便于自学。

全书内容包括:数字逻辑电路概论、逻辑代数、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、逻辑门电路、脉冲波形的变换与产生、数模与模数转换器、半导体存储器和可编程逻辑器件。

本书可作为高等学校电子、电气、通信、计算机、机电及相关专业的“数字电子技术”课程的教材,也可供相关专业工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/龙治红,谭本军主编. —北京:北京理工大学出版社, 2010. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 3349 - 1

I. ①数… II. ①龙… ②谭… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 125943 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(营销中心) 68911085(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京燕旭开拓印务有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 374 千字

版 次 / 2010 年 7 月第 1 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

定 价 / 38.00 元



责任编辑/张慧峰

责任校对/陈玉梅

责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

Preface

数字电子技术是电子、电气、通信、计算机、机电一体化等专业一门重要的专业基础课程。为适应现代电子技术发展的需要,编者根据自己十多年的教学经验和实践积累,本着以应用为目的的思想编写了此书。

本书在编写中注重循序渐进、难易合理、重点突出、实用性强、侧重能力培养。具体有以下特色:

1. 合理调整课程结构。结合学生的知识基础,编者大胆创新,将逻辑门电路这一内容编排在第6章,既可避免学生因先学课程知识薄弱首先就产生负面情绪,又能与第7章脉冲波形的变换与产生的内容紧密相连。

2. 全面优化课程内容。本着能用、实用的原则,在内容安排上,注重基本理论、基本概念和实际应用,删除了集成电路内部结构的繁琐分析,突出了其特点、功能及应用。如第5章计数器这一节,在介绍二进制和十进制计数器的基础上,重点介绍了目前常用的中规模集成计数器的应用,培养学生运用所学知识,提高解决实际问题的能力。

3. 归纳知识,总结口诀。将基本知识点进行归纳,总结成朗朗上口的口诀。如JK触发器的功能口诀为:00保持,11翻转,其余随J变。这样不仅能激发学生的兴趣,又能使学生轻松灵活的运用,进而提高学习效率,为实际应用打下坚实的基础。

4. 讲练结合,重点突出。每章前列出本章重点和难点,具体内容介绍配有大量的例题解析,章后附有知识小结、习题等内容。可引导学生通过讲练、讨论、自学等途径逐步学会分析和解决实际问题的方法。

5. 注重新知识的扩充。数字电子技术发展迅速,须不断推陈出新,本书中删减了与目前发展不相适应的电路内容,注重介绍新技术、新器件、新发展。如在书中第9章介绍了半导体存储和可编程逻辑器件等。

本书共9章。第1章为数字逻辑电路概论。第2章为逻辑代数,介绍了数制、码制及逻辑运算关系等基础知识。第3章为组合逻辑电路,重点介绍了组合逻辑电路的一般分析和设计方法及几种典型的组合逻辑器件的应用。第4章为触发器,介绍了常用的触发器的类型及功能。第5章为时序逻辑电路,对时序逻辑

电路的一般分析和设计方法进行了介绍，并重点介绍了寄存器和计数器集成电路的应用。第6章为逻辑门电路，介绍了半导体的开关特性、TTL和CMOS集成门电路的内部结构及使用特点。第7章为脉冲波形的变换与产生，主要包括施密特触发器、单稳态触发器、多谐振荡器，并重点介绍了555定时器的功能及应用。第8章为数模和模数转换器，介绍了ADC和DAC的基本原理及典型集成电路。第9章为半导体存储器和可编程逻辑器件，介绍了RAM、ROM、PAL、GAL、FPGA等器件的结构及应用。本书可根据不同专业的具体情况进行内容节选。

本书由龙治红、谭本军担任主编，黄华飞任副主编。第2、3、4、5章由龙治红编写，第1、6、7章由谭本军编写，第8、9章由黄华飞编写。李英杰、刘峰、钟建宇协助主编参与了部分绘图工作，石继彬参与了初稿审阅工作。龙治红负责全书的组织和统稿。

由于编者水平有限，加之时间比较仓促，书中难免有不妥之处，恳请使用本教材的师生和其他读者予以批评指正。

编 者

目录

Contents

第1章 数字逻辑电路概论	1
1.1 数字电路概述	1
1.1.1 数字电子技术的发展及应用	1
1.1.2 数字信号与数字电路	2
1.1.3 数字电路的分类及特点	2
1.2 数制	4
1.2.1 数的表示方法	4
1.2.2 数制转换	6
1.3 二进制代码	10
1.3.1 二—十进制代码	11
1.3.2 可靠性代码	12
本章小结	14
习题	15
第2章 逻辑代数	16
2.1 概述	16
2.2 逻辑代数中常用的逻辑运算关系	17
2.2.1 基本逻辑运算	17
2.2.2 复合逻辑运算	20
2.3 逻辑函数及其表示方法	24
2.3.1 逻辑函数	24
2.3.2 逻辑函数的表示方法	24
2.3.3 逻辑函数表示方法之间的相互转换	26
2.4 逻辑代数的基本公式、定律和规则	29
2.4.1 逻辑代数的基本定律	29

2.4.2 逻辑代数常用公式	31
2.4.3 逻辑代数的三个基本规则	32
2.5 逻辑函数的公式化简法	33
2.5.1 逻辑函数化简的意义与最简的标准	33
2.5.2 逻辑函数的公式化简法	35
2.6 逻辑函数的卡诺图化简法	37
2.6.1 逻辑函数的最小项	37
2.6.2 逻辑函数的卡诺图表示法	39
2.6.3 逻辑函数的卡诺图化简法	43
2.6.4 具有无关项的逻辑函数的卡诺图化简	46
本章小结	48
习题	49
第3章 组合逻辑电路	52
3.1 概述	52
3.2 组合逻辑电路的分析	53
3.2.1 组合逻辑电路的分析步骤	53
3.2.2 组合逻辑电路的分析举例	53
3.3 组合逻辑电路的设计	55
3.3.1 组合逻辑电路的设计步骤	55
3.3.2 组合逻辑电路的设计举例	56
3.4 编码器	60
3.4.1 二进制编码器	60
3.4.2 二—十进制编码器	61
3.4.3 优先编码器	62
3.5 译码器	64
3.5.1 二进制译码器	64
3.5.2 二进制译码器的应用	66
3.5.3 二—十进制译码器	69
3.5.4 显示译码器	70
3.6 数据选择器	73
3.6.1 4选1数据选择器	74
3.6.2 集成数据选择器	75

3.6.3 数据选择器的应用	77
3.7 数据分配器	79
3.7.1 1路—4路数据分配器	79
3.7.2 集成数据分配器	80
3.8 加法器	81
3.8.1 半加器和全加器	81
3.8.2 多位加法器	84
3.9 数值比较器	85
3.9.1 1位数值比较器	85
3.9.2 4位数值比较器	86
3.10 组合逻辑电路中的竞争与冒险	88
3.10.1 竞争冒险产生的原因	89
3.10.2 竞争冒险的判断与识别	90
3.10.3 消除竞争冒险的方法	91
本章小结	92
习题	93
第4章 触发器	97
4.1 概述	97
4.2 基本RS触发器	98
4.2.1 由与非门组成的基本RS触发器	98
4.2.2 由或非门组成的基本RS触发器	100
4.3 同步触发器	101
4.3.1 同步RS触发器	102
4.3.2 同步D触发器	105
4.3.3 同步JK触发器	106
4.3.4 同步触发器的空翻问题	108
4.4 主从触发器	108
4.4.1 主从RS触发器	108
4.4.2 主从JK触发器	109
4.5 边沿触发器	111
4.5.1 边沿JK触发器	111
4.5.2 边沿D触发器	115

4.5.3 T 触发器和 T' 触发器	117
4.6 不同类型触发器之间的相互转换	118
本章小结	121
习题	122
第5章 时序逻辑电路	126
5.1 概述	126
5.1.1 时序逻辑电路的结构框图	126
5.1.2 时序逻辑电路的分类	127
5.1.3 时序逻辑电路功能的表示方法	127
5.2 同步时序逻辑电路的分析	128
5.2.1 同步时序逻辑电路的分析方法	128
5.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	129
5.3 异步时序逻辑电路的分析	134
5.3.1 异步时序逻辑电路的分析方法	134
5.3.2 异步时序逻辑电路的分析举例	135
5.4 同步时序逻辑电路的设计	137
5.4.1 同步时序逻辑电路的设计方法	137
5.4.2 同步时序逻辑电路的设计举例	138
5.5 计数器	140
5.5.1 异步计数器	140
5.5.2 同步计数器	152
5.5.3 用集成计数器构成任意 N 进制计数器	163
5.6 寄存器	171
5.6.1 数码寄存器	171
5.6.2 移位寄存器	172
5.6.3 移位寄存器的应用	176
本章小结	179
习题	180
第6章 逻辑门电路	184
6.1 概述	184
6.2 半导体器件的开关特性	185
6.2.1 半导体二极管的开关特性	185

6.2.2	半导体三极管的开关特性	187
6.2.3	MOS 管的开关特性	189
6.3	分立元件门电路	190
6.3.1	二极管与门电路	190
6.3.2	二极管或门电路	192
6.3.3	三极管非门电路	193
6.3.4	复合逻辑门电路	194
6.4	TTL 逻辑门电路	196
6.4.1	TTL 与非门	196
6.4.2	TTL 与非门改进电路	202
6.4.3	其他功能的 TTL 门电路	204
6.4.4	TTL 集成电路产品简介	208
6.4.5	TTL 集成门电路使用注意事项	210
6.5	CMOS 集成门电路	211
6.5.1	CMOS 反相器	211
6.5.2	COMS 与非门和或非门电路	213
6.5.3	其他功能的 CMOS 门电路	214
6.5.4	CMOS 集成电路产品简介及特点	216
6.5.5	CMOS 集成门电路使用注意事项	218
6.5.6	TTL 与 CMOS 电路的连接	219
	本章小结	221
	习题	221
第 7 章	脉冲波形的变换与产生	226
7.1	概述	226
7.2	单稳态触发器	227
7.2.1	用门电路组成的单稳态触发器	227
7.2.2	集成单稳态触发器	230
7.3.3	单稳态触发器的应用	234
7.3	施密特触发器	235
7.3.1	用门电路组成的施密特触发器	236
7.2.2	集成施密特触发器	238
7.3.3	施密特触发器的应用	239

7.4 多谐振荡器	240
7.4.1 用门电路组成的多谐振荡器	241
7.4.2 用施密特触发器构成多谐振荡器	244
7.4.3 石英晶体多谐振荡器	245
7.5 555 定时器及其应用	246
7.5.1 555 定时器的电路结构及功能	246
7.5.2 用 555 定时器组成施密特触发器	248
7.5.3 用 555 定时器组成单稳态触发器	250
7.5.4 用 555 定时器组成多谐振荡器	252
本章小结	255
习题	255
第 8 章 数模和模数转换器	259
8.1 概述	259
8.2 D/A 转换器	260
8.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	260
8.2.2 $R-2R$ 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	262
8.2.3 权电流型 D/A 转换器	263
8.2.4 D/A 转换器的主要参数	265
8.2.5 集成 D/A 转换器 AD7520	265
8.3 A/D 转换器	268
8.3.1 A/D 转换的一般步骤	268
8.3.2 并联比较型 A/D 转换器	271
8.3.3 逐次逼近型 ADC	272
8.3.4 双积分型 A/D 转换器	274
8.3.5 A/D 转换器的主要参数	276
本章小结	277
习题	277
第 9 章 半导体存储器 and 可编程逻辑器件	279
9.1 只读存储器 (ROM)	279
9.1.1 固定 ROM	279
9.1.2 可编程只读存储器 (PROM)	281
9.1.3 可擦除可编程只读存储器 (EPROM)	282

9.1.4 ROM 应用	283
9.2 随机存取存储器 (RAM)	286
9.2.1 RAM 的基本结构	286
9.2.2 RAM 的存储单元	290
9.2.3 RAM 的容量扩展	293
9.3 可编程逻辑器件	294
9.3.1 PLD 的基本结构	294
9.3.2 PLD 的逻辑符号表示方法	294
9.3.3 可编程阵列逻辑器件 (PAL)	295
9.3.4 通用阵列逻辑 (GAL)	296
9.3.5 复杂的可编程逻辑器件 (CPLD)	301
9.3.6 现场可编程门阵列 (FPGA)	302
9.3.7 可编程逻辑器件的编程技术	304
本章小结	304
习题	305
参考文献	306

第 1 章 数字逻辑电路概论

本章要点

- 数字逻辑电路的概念、分类及特点
- 常用的计数制及相互转换
- 常用的二进制代码

本章难点

- 二进制、八进制、十进制、十六进制之间的相互转换
- 常用 BCD 码的表示方法

1.1 数字电路概述

1.1.1 数字电子技术的发展及应用

电子技术是 20 世纪发展最迅速、应用最广泛的技术，其发展大致分为电子管（真空管）、晶体管、微电子集成电路三个阶段。随着电子技术的发展，我们正处于一个信息时代，每天都要通过电视、广播、通信、互联网等多种媒体获取大量的信息，而现代信息的存储、处理和传输越来越趋于数字化。如我们生活中常用的计算机、通信产品、视频设备、自动控制等电子系统，均采用数字电路或数字系统。数字电子技术正在改变人类的生产方式、生活方式和思维方式，朝着自动化、智能化方向发展。

数字电子技术是在布尔代数和开关理论的基础上发展起来的，其应用的典型代表是电子计算机，计算机技术的产生掀起了一场数字革命。例如照相机，传统的模拟相机用卤化银感光胶片记录影像，胶片的成像过程需要严格的加工技术，且胶片不便于传输和长期保存，数字相机将影像的光信号转换为数字信号，以像素阵列的形式进行存储，数据量压缩处理后可进行网络的远距离传输。因此，数



字电子技术广泛应用于工业、农业、科教、医疗、娱乐、交通、银行等领域，使人们的生产和生活发生了质的飞跃。

1.1.2 数字信号与数字电路

自然界中存在许多的物理量，就其变化规律的特点来说，可分为两大类：一类是在时间和幅值上均是连续变化的信号，称为模拟信号，如图 1.1.1 (a) 所示，例如，模拟语音的音频信号，模拟温度变化的电压信号等。将传输和处理模拟信号的电子电路称为模拟电路，如模拟电子技术中讲述的放大电路、整流电路等。另一类是时间和幅值上均是离散的，就是说它的变化在时间和幅值上是不连续的，称为数字信号，如图 1.1.1 (b) 所示，例如灯的工作状态，自动生产线上产品件数的统计。数字信号常用二值量的信息表示，可以用 0、1 分别表示事物的两种对立状态，如用数字电路来记录自动生产线上通过的产品件数时，当有产品通过时记为 1，没有产品通过时电路产生的信号为 0；又如用数字电路表示灯的工作状态时，灯亮用 1 表示，熄灭用 0 表示；当表示电压的高低时，用 1 表示高电平，用 0 表示低电平等。将传输和处理数字信号的电子电路称为数字电路，如本教材将介绍的门电路、触发器、计数器、编码器和译码器等。因为任何一个数字电路的输出信号与输入信号之间都存在一定的逻辑关系，所以数字电路又称为数字逻辑电路或逻辑电路。

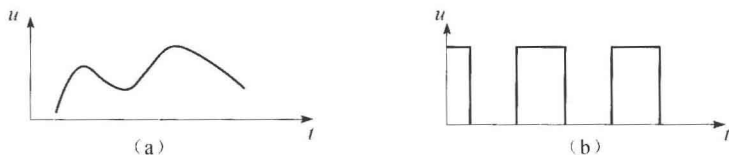


图 1.1.1 模拟信号与数字信号

(a) 模拟信号；(b) 数字信号

1.1.3 数字电路的分类及特点

一、数字电路的分类

1. 按集成度分

数字电路可分为分立元件电路和集成电路两大类。从集成度来说，数字集成电路可分为小规模 (SSI)、中规模 (MSI)、大规模 (LSI)、超大规模 (VLSI) 和甚大规模 (ULSI) 数字集成电路。所谓集成度，是指每一芯片所包含的门或

元器件的个数,表1.1.1所示为数字集成电路的分类。此外,集成电路从应用的角度又可分为通用型和专用型两大类型。

表 1.1.1 数字集成电路的分类

分类	门或元器件的个数	典型集成电路
小规模 (SSI)	1 ~ 10 门或 10 ~ 100 元件	逻辑门、触发器等
中规模 (MSI)	10 ~ 100 门或 100 ~ 1 000 元件	编码器、计数器、A/D 转换器等
大规模 (LSI)	100 ~ 10 000 门或 1 000 ~ 100 000 元件	小型存储器、门阵列等
超大规模 (VLSI)	10 000 ~ 10^6 门或 100 000 ~ 10^7 元件	大型存储器、微处理器等
甚大规模 (ULSI)	10^6 门或 10^7 元件以上	可编程逻辑器件、多功能专用集成电路等

1. 按器件类型和集成度的不同分

数字电路可分为双极型 (TTL 电路) 和单极型 (CMOS 电路) 两类。

2. 按逻辑电路由和工作原理的不同分

数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两类。组合逻辑电路没有记忆功能,其输出信号只与当时的输入信号有关,而与电路原来的状态无关。时序逻辑电路具有记忆功能,其输出信号不仅和当时的输入信号有关,而且与电路原来的状态有关。

二、 数字电路的特点

与模拟电路相比,数字电路主要有以下优点:

1. 结构简单,体积小,通用性强

数字电路结构简单,体积小,通用性强,集成化高,容易制造,可大批量生产,因而成本低廉。

2. 工作可靠,稳定性好

数字电路中的电子器件工作在开关状态,对于一个给定的输入信号,输出总是相同的。而模拟电路的输出会很容易受外界温度及器件老化等因素的影响。

3. 功耗低,抗干扰能力强

随着集成电路工艺的发展,集成电路中单管的速度可以做到小于 10^{-11} s,超大规模集成芯片的功耗可低达几个毫瓦。

4. 数字电路具有保密性和存储性

数字电路的信息采用二进制代码进行存储、处理和传输,具有很好的保密性和存储性。



5. 易于设计，具有可编程性

数字电路只要能可靠的区分 0 和 1 两种状态就可正常工作，故分析和设计相对较容易。同时，用户可根据需要用硬件描述语言（如 VHDL 等）完成设计和仿真后写入芯片，具有极强的灵活性。

1.2 数制

在表示数的大小时，仅用一位数码往往不够，必须用进位计数的方法组成多位数码。多位数码的每一位构成以及从低位到高位进位的规则称为进位计数制，简称数制。在日常生活中，我们习惯用十进制数，而在数字系统中进行数字的运算和处理采用的是二进制数、八进制数和十六进制数。

本节将介绍几种常用数制的表示方法及相互间的转换。

1.2.1 数的表示方法

首先，我们来看一个十进制数的展开式。

$$(319.58)_{10} = 3 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

其中，3、1、9、5、8 为基本符号，10 为基数， 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 为位权。我们将一种进制所包含的全部数码称为基本符号。进制计数中按照“逢 N 进一”的规律，将 N 称为基数。在某一进制的数中，每一位的大小都对应该位数码乘以一个固定的数，这个固定的数就是这一位的权。权是一个幂，等于基数的位次方，它表示每一数码在不同位置时，所代表的数值是不同的。 N 进制数的第 i 位的权，整数部分由低位到高位分别为 N^0 、 N^1 、 N^2 、 $\dots$ 、 N^{x-1} ；小数部分由高位到低位分别为 N^{-1} 、 N^{-2} 、 $\dots$ 、 N^{-y} 。

将基本符号、基数、位权统称为数制的三要素。任意一个进制数都可以表示为基本符号与其对应权的乘积之和，称三要素展开式。如果用 K_i 表示第 i 位的基本符号，对于一个具有 x 位整数和 y 位小数的 N 进制数 M 的三要素展开式为

$$(M)_N = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times N^i \quad (1.2.1)$$

一、十进制

十进制是以 10 为基数的计数体制，常用下标 10 或符号 D 来表示。有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共十个不同的数码，其计数规律是“逢十进一”，即：

$9 + 1 = 10$ 。

任何一个十进制数的三要素展开式都可写成

$$(M)_{10} = (M)_D = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 10^i \quad (1.2.2)$$

例如:

$$(5\,368.27)_D = 5 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 8 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

二、 二进制

二进制是以 2 为基数的计数体制, 常用下标 2 或符号 B 来表示。只有 0 和 1 两个数码, 它的每一位都可以用电子元件来实现, 且运算规则简单, 相应的运算电路也容易实现。其计数规律是“逢二进一”, 即: $1 + 1 = 10$ 。

任何一个二进制数的三要素展开式都可写成

$$(M)_2 = (M)_B = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 2^i \quad (1.2.3)$$

例如:

$$(101.01)_B = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$$

三、 八进制

八进制是以 8 为基数的计数体制, 常用下标 8 或符号 O 来表示。有 0、1、2、3、4、5、6、7 共八个不同的数码, 其计数规律是“逢八进一”, 即: $7 + 1 = 10$ 。

任何一个八进制数的三要素展开式都可写成

$$(M)_8 = (M)_O = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 8^i \quad (1.2.4)$$

例如:

$$(367.15)_O = 3 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 1 \times 8^{-1} + 5 \times 8^{-2}$$

四、 十六进制

十六进制是以 16 为基数的计数体制, 常用下标 16 或符号 H 来表示。有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 共十六个不同的数码, 其中 A、B、C、D、E、F 依次相当于十进制数中的 10、11、12、13、14、15。十六进制的计数规律是“逢十六进一”, 即: $F + 1 = 10$ 。

任何一个十六进制数的三要素展开式都可写成

$$(M)_{16} = (M)_H = \sum_{i=-y}^{x-1} K_i \times 16^i \quad (1.2.5)$$

例如:

$$(6D8.A)_H = 6 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 8 \times 16^0 + 10 \times 16^{-1}$$