



现代远程教育系列教材

数字电路与系统

王 兢 王开宇 主编



大连理工大学出版社

责任编辑 王晓玲
封面设计 戴筱冬

现代远程教育系列教材

- ▶ 道路路基与路面工程
- ▶ 建筑材料
- ▶ 复变函数与积分变换
- ▶ 土力学与地基基础工程
- ▶ 工程力学
- ▶ 数字电路与系统
- ▶ 水力学
- ▶ 道路勘测设计
- ▶ 财务管理

ISBN 978-7-5611-3879-3



9 787561 138793 >

定价：29.90元

数字电路与系统

主编 王 兢 王开宇

编写 李小兵 戚金清

大连理工大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与系统/王兢,王开宇主编. —大连:大连理工大学出版社,2009.2

(现代远程教育系列教材)

ISBN 978-7-5611-3879-3

I. 数… II. ①王…②王… III. 数字集成电路—系统设计 IV. TN431.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 013162 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84703636

E-mail: dutp@dutp.cn URL: <http://www.dutp.cn>

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:185mm×260mm	印张:15.75	字数:348 千字
2009 年 2 月第 1 版	2009 年 2 月第 1 次印刷	

责任编辑:王晓玲

责任校对:达 理

封面设计:戴筱冬

ISBN 978-7-5611-3879-3

定 价:29.90 元

出版说明

基于计算机网络条件下的远程教育,即网络教育,亦称现代远程教育,已经成为当今推进我国高等教育大众化的新途径。经批准,大连理工大学于2002年2月成为全国68所现代远程教育试点高校之一,并已在网络高等学历教育方面取得了显著成绩。为贯彻教育部关于网络教育要“积极发展,规范管理,强化服务,提高质量,改革创新”的指导思想,在教学方面要继续做好网络教育平台建设、网络教育资源及视听教材建设、开展好网上学习的支持服务的同时,积极组织编好具有远程教育特色的高水平纸介教材十分重要。为此,大连理工大学决定将网络教育系列纸介教材的编辑出版工作列入《现代远程教育类教学改革基金项目》加以实施。

按照教改立项的要求,要配合网络课件、视听教材的建设,制订相应的网络教育纸介教材建设计划,有组织、有步骤地开展好这项工作。

按照教改立项的要求,网络教育纸介教材必须以网络课件的教学大纲为基础进行编写,并努力凸现远程教育的特色,为培养应用型人才服务。

按照教改立项的要求,网络教育纸介教材的内容取舍、理论深度、文字处理,既要力求适合大多数网络教育学生的实际接受能力,适应网络教育学生自主学习的需要,又要确保达到网络高等教育的基本要求,为高等教育大众化服务。

按照教改立项的要求,网络教育纸介教材的编著者应有丰富的教学经验,在本学科有较厚的基础,了解本门课程发展动态,有较高的学术水平,有较好的文字功底,并且优先选聘本课程网络课件的主讲教师担任编写工作。

现在,经过不断的努力,现代远程教育系列教材将陆续出版问世,特向各位编著者及审稿专家表示感谢,同时敬请社会各界同行对不足之处给予批评指正。

大连理工大学网络教育学院

2008年12月

前言

“数字电路与系统”是电子、自动化、计算机、电力系统以及机电一体化等专业的一门重要的专业基础课程。在信息和数字化时代,数字电子技术已经广泛应用在信息、通信、计算机、自动控制等领域,成为相关领域工程技术人员必须掌握的基本理论和技能。数字电路与系统课程的内容也要不断改进,以适应飞速发展的数字电子技术的要求。

为贯彻教育部关于网络教育要“积极发展,规范管理,强化服务,提高质量,改革创新”的指导方针,在大连理工大学网络教育学院的支持下,编写了这本具有远程教育特色的适合网络教育学生自学需要的文字教材。该教材的内容取舍、论理深度、文字处理,力求适合大多数网络教育学生的实际接受能力,适应网络教育学生自主学习的需要,同时确保达到网络高等教育的基本要求,为高等教育大众化服务。

本书基本保持了原来《数字电路与系统》(王兢、王洪玉等编写)内容的完整性和理论方面的系统性,有些章节做了适当删改,去掉原书中较复杂的电路,减掉了数字系统设计和 VHDL 硬件描述语言两章内容。同时增加了部分例题,目的是更适合网络教育的需求。本教材有助于自学学生对知识点的理解和消化。

本书共分九章,第1章为数字逻辑基础,第2章为逻辑门电路,第3章为逻辑代数基础,第4章为组合逻辑电路,第5章为触发器,第6章为时序逻辑电路,第7章为脉冲波形的产生与变换,第8章为数模模数转换,第9章为半导体存储器及可编程逻辑器件。每章都附有习题。

本书由王兢、王开宇、李小兵、戚金清编写。第1、2、3章由戚金清编写,第4、5章由李小兵编写,第6、9章由王开宇编写,第7、8章由王兢编写。全书由王兢统稿、定稿。作者向多年从事本课程教学、为本书积累了大量资料和教学经验的孟贵胥、李亚伯、高希玉、马晓红、王洪玉、余隽等老师表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳求读者批评指正。

作者

2008年12月

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数字电路	1
1.2 数 制	2
1.3 数制间的转换	4
1.3.1 r 进制转换成十进制	4
1.3.2 十进制转换成 r 进制	4
1.3.3 二进制与八进制间的转换	5
1.3.4 二进制与十六进制间的转换	5
1.4 代 码	6
1.4.1 二-十进制代码(BCD 码)	6
1.4.2 格雷码(Gray Code)	6
1.4.3 字符代码	7
1.5 带符号的二进制数	7
1.5.1 原码、反码和补码表示法	7
1.5.2 带符号的二进制数表示法	8
1.5.3 带符号二进制数的运算	8
习题 1	9
第 2 章 逻辑门电路	11
2.1 概 述	11
2.2 逻辑门电路介绍	12
2.2.1 基本逻辑门电路	12
2.2.2 复合逻辑门电路	14
2.3 分立元件门电路	16
2.3.1 三极管非门(反相器)	16
2.3.2 二极管与门	17
2.3.3 二极管或门	17
2.4 TTL 集成门电路	17
2.4.1 TTL 集成门电路概述	18
2.4.2 TTL 与非门	18

2.4.3	TTL 与非门的电气特性	20
2.4.4	其他类型 TTL 门电路	23
2.4.5	TTL 门电路的改进系列	27
2.5	MOS 门电路	29
2.5.1	NMOS 门电路	29
2.5.2	CMOS 门电路	31
2.5.3	CMOS 门电路特点	33
2.5.4	集成电路使用注意事项	33
2.6	TTL 与 CMOS 门电路的连接	34
2.6.1	两类集成门电路匹配连接的条件	34
2.6.2	TTL、CMOS 常用芯片介绍	35
	习题 2	37
第 3 章	逻辑代数基础	44
3.1	逻辑代数运算法则	44
3.1.1	逻辑代数的基本定律	44
3.1.2	逻辑代数的基本规则	45
3.1.3	逻辑代数常用公式	46
3.2	逻辑函数的标准形式	46
3.2.1	最小项和标准与或式	46
3.2.2	最大项和标准或与式	48
3.2.3	最大项与最小项的关系	48
3.3	逻辑函数的公式化简法	49
3.4	逻辑函数的卡诺图化简法	50
3.4.1	卡诺图	50
3.4.2	用卡诺图表示逻辑函数	51
3.4.3	用卡诺图化简逻辑函数	52
3.4.4	具有随意项的逻辑函数化简	53
3.4.5	引入变量卡诺图	55
	习题 3	55
第 4 章	组合逻辑电路	59
4.1	组合逻辑电路分析	60
4.2	组合逻辑电路设计	61
4.3	编码器	64
4.3.1	普通编码器	64
4.3.2	优先编码器	65

4.4 译码器	68
4.4.1 二进制译码器	68
4.4.2 码制变换译码器	71
4.4.3 显示译码器	73
4.5 数据选择器	77
4.5.1 数据选择器的原理	77
4.5.2 数据选择器实现逻辑函数	78
4.6 数值比较器	80
4.6.1 一位数值比较器	81
4.6.2 四位数值比较器 7485	81
4.6.3 数值比较器的位数扩展	82
4.7 加法电路	83
4.7.1 半加器	83
4.7.2 全加器	84
4.7.3 超前进位加法器 74283	86
习题 4	87
第 5 章 触发器	91
5.1 基本 RS 触发器	92
5.1.1 由与非门构成的基本 RS 触发器	92
5.1.2 基本 RS 触发器的逻辑功能描述方法	94
5.1.3 由或非门构成的基本 RS 触发器	95
5.1.4 基本 RS 触发器的特点	96
5.2 时钟触发器	97
5.2.1 时钟 RS 触发器	97
5.2.2 时钟 D 触发器	98
5.2.3 时钟 JK 触发器	99
5.2.4 时钟 T 触发器	100
5.2.5 时钟触发器的特点	101
5.3 主从触发器	101
5.3.1 主从 RS 触发器	101
5.3.2 主从 JK 触发器	103
5.4 边沿触发器	106
5.5 触发器的分类及转换	110
5.5.1 常用触发器的管脚图和逻辑符号	111
5.5.2 触发器之间的转换	111

5.6 触发器的典型应用	113
习题5	115
第6章 时序逻辑电路	122
6.1 时序逻辑电路的基本概念	122
6.1.1 时序逻辑电路的结构及特点	122
6.1.2 时序逻辑电路的分类	123
6.1.3 时序逻辑电路的表示方法	123
6.2 同步时序逻辑电路的一般分析方法	124
6.2.1 分析同步时序逻辑电路的一般步骤	124
6.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	125
6.3 同步时序逻辑电路的设计方法	128
6.3.1 同步时序逻辑电路的设计步骤	128
6.3.2 同步计数器的设计举例	128
6.4 计数器	133
6.4.1 四位二进制同步集成计数器 74161	133
6.4.2 8421BCD 码同步加法计数器 74160	135
6.4.3 同步二进制加法计数器 74163	136
6.4.4 二-五-十进制异步加法计数器 74290	137
6.4.5 集成计数器的应用	139
6.5 寄存器	145
6.5.1 寄存器 74175	145
6.5.2 移位寄存器	146
6.5.3 集成移位寄存器 74194	148
6.5.4 移位寄存器构成的移位型计数器	149
6.6 计数型序列信号发生器	151
习题6	153
第7章 脉冲波形的产生与变换	158
7.1 脉冲波形	158
7.2 555 定时器	159
7.3 施密特触发器	161
7.3.1 555 定时器构成的施密特触发器	161
7.3.2 集成施密特触发器	162
7.3.3 施密特触发器的应用	162
7.4 单稳态触发器	164
7.4.1 TTL 与非门组成的微分型单稳态触发器	165

7.4.2 积分型单稳态触发器	166
7.4.3 555 定时器构成的单稳态触发器	167
7.4.4 集成单稳态触发器	168
7.4.5 单稳态触发器的应用	171
7.5 多谐振荡器	174
7.5.1 555 定时器构成的多谐振荡器	175
7.5.2 TTL 与非门构成的多谐振荡器	177
7.5.3 石英晶体振荡器	178
7.5.4 施密特触发器构成的多谐振荡器	179
7.5.5 多谐振荡器的应用	181
习题 7	182
第 8 章 数模与模数转换	185
8.1 数模转换电路	185
8.1.1 数模转换关系	185
8.1.2 权电阻网络 DAC	186
8.1.3 $R-2R$ 梯形电阻网络 DAC	187
8.1.4 $R-2R$ 倒梯型电阻网络 DAC	188
8.1.5 电流激励 DAC	189
8.2 集成数模转换电路	190
8.2.1 十位 CMOS 集成 DAC——AD7533	191
8.2.2 八位 CMOS 集成 DAC——DAC0832	194
8.3 数模转换的主要技术指标	196
8.4 模数转换电路	198
8.4.1 ADC 的工作过程	198
8.4.2 并行比较型 ADC	200
8.4.3 并/串型 ADC	203
8.4.4 逐次逼近型 ADC	204
8.4.5 双积分型 ADC	206
8.5 集成模数转换电路	208
8.5.1 ADC0816	208
8.5.2 CC7106/CC7107	209
8.6 模数转换的主要技术指标	211
习题 8	212
第 9 章 半导体存储器及可编程逻辑器件	215
9.1 半导体存储器概述	215

9.1.1 半导体存储器的分类	215
9.1.2 半导体存储器的技术指标	216
9.2 随机存储器	217
9.2.1 RAM 的基本结构	217
9.2.2 RAM 芯片简介	219
9.2.3 RAM 的容量扩展	220
9.3 只读存储器	223
9.3.1 ROM 的分类	223
9.3.2 ROM 的结构与基本原理	224
9.3.3 ROM 应用	225
9.4 可编程逻辑器件	228
9.4.1 可编程逻辑器件概述	228
9.4.2 可编程逻辑器件的基本结构和电路表示方法	229
9.4.3 可编程阵列逻辑 PAL	231
9.4.4 通用阵列逻辑电路 GAL	232
9.4.5 现场可编程门阵列 FPGA	234
习题 9	236

第1章 数字逻辑基础

本章提要

本章介绍了数字信号和模拟信号的区别;几种常用的数制,包括十进制,二进制,八进制,十六进制等;数字之间的转换方法;几种常用的代码;带符号的二进制数的几种表达方法。对学习本章的要求是:

- (1)掌握各种数制;
- (2)掌握数制间的转换;
- (3)掌握BCD码,了解其他几种代码;
- (4)掌握带符号的二进制数的表示方法。

本章的重点是:

- (1)数制;
- (2)数制间的转换特别是小数部分的转换。

1.1 数字电路

自然界有各种各样的物理量,就其变化规律而言,分为两类——模拟量和数字量。

人们能感知到的自然界中的许多物理量均是模拟量,即随着时间的连续变化,其数值也连续变化的物理量,例如声音、压力、速度、气味、温度等。模拟信号是时间和幅度都连续的信号。输入输出量均为模拟信号的电子电路称为模拟电路。

数字量是在时间和数值上均离散的物理量,数字信号是用数字量来表示的信号。处理数字信号并能完成数字运算的电路系统称为数字电路或数字系统。数字系统已广泛应用于我们的日常生活中,例如计算器、CPU、MP3、交通信号灯控制电路等。

与模拟电路相比,数字电路具有以下特点:

- (1)数字电路的工作信号采用二进制的数字信号,用0和1表示电路中的高电平和低电平两种状态。因此基本单元电路结构简单,易于电路的集成化。
- (2)数字电路不仅能进行数值运算,而且能进行逻辑判断和运算,这时关心的是输入和输出之间的逻辑关系。
- (3)数字电路工作可靠、精度高,并且具有较强的抗干扰能力。数字信号便于长期存储和远程传输,保密性好,通用性强。

由于数字电路具有以上特点,为了便于信号的存储、分析和传输,常将模拟信号转换

为数字信号。现实世界中的各种模拟信息经模拟电路采集、放大后,通过 A/D 转换成计算机或数字电路处理所需的数字信号,数字电路的运算、分析结果再通过 D/A 转换成便于人们接受的模拟信号(图像、声音),从而实现人们需要的信息产品。

1.2 数 制

数制就是计数规则,即进位的制度。一个数制所包含的数字符号的个数称为该数制的基数(radix)。人们在日常生活中使用的是十进制,而在数字系统中多采用二进制,有时也采用八进制或十六进制。

1. 十进制(Decimal)

十进制有 10 个数码:0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,基数为 10,逢 10 进 1,即 $9+1=10$ 。任何一个十进制数都可以用这 10 个数码按一定规律排列起来表示。一个数的大小由它的数码大小和数码所在的位置决定。每个数码所处的位置称为“权”。权由基数的乘方表示,十进制的权由 $10^0, 10^1, 10^2, \dots$ 以及 $10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, \dots$ 表示。例如 8596.41 按权展开为

$$(8596.41)_{10} = 8 \times 10^3 + 5 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 1 \times 10^{-2}$$

一般来说,一个 r 进制数 N 可以按权展开为

$$(N)_r = k_{n-1}r^{n-1} + k_{n-2}r^{n-2} + \dots + k_1r^1 + k_0r^0 + k_{-1}r^{-1} + k_{-2}r^{-2} + \dots + k_{-m}r^{-m}$$
$$= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i r^i$$

式中, n 为整数部分的位数, m 为小数部分的位数, r^i 为各位的权, k_i 为系数,是各位的数码。注意,整数部分从右向左第 n 位的权为 r^{n-1} ,系数为 k_{n-1} ;小数部分从左向右第 m 位的权为 r^{-m} ,系数为 k_{-m} 。

数字电路的计数规则一般不直接采用十进制,因为构成计数电路的基本思路是把电路的状态与数码对应起来,如果采用十进制,则需要有 10 个不同的电路状态来与之对应,从而会使数字电路的结构复杂,错误概率增大,工作可靠性变差。数字电路通常采用二进制进行计数。

2. 二进制(Binary)

二进制的基数为 2,只有两个数码 0 和 1,逢 2 进 1,即 $1+1=10$ 。二进制各位的权为基数 2 的乘方(见表 1-1)。

表 1-1 二进制的权的

二进制位数	权	十进制表示	二进制位数	权	十进制表示	二进制位数	权	十进制表示
12	2^{11}	2048	6	2^5	32	-1	2^{-1}	0.5
11	2^{10}	1024	5	2^4	16	-2	2^{-2}	0.25
10	2^9	512	4	2^3	8	-3	2^{-3}	0.125

(续表)

二进制位数	权	十进制表示	二进制位数	权	十进制表示	二进制位数	权	十进制表示
9	2^8	256	3	2^2	4	-4	2^{-4}	0.062 5
8	2^7	128	2	2^1	2	-5	2^{-5}	0.031 25
7	2^6	64	1	2^0	1	-6	2^{-6}	0.015 625

二进制数 $(101101.101)_2$ 可表示为

$$(101101.101)_2=1\times2^5+1\times2^3+1\times2^2+1\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-3}$$

数字电路中通常采用二进制,因为二进制数只有 0 和 1 两个数码,正好对应于电路中低电平和高电平两种状态。

3. 八进制(Octal)

八进制的基数为 8,有 8 个数码:0,1,2,3,4,5,6,7,逢 8 进 1。八进制各位的权为基数 8 的乘方。例如八进制数 $(374.25)_8$ 按权展开为

$$(374.25)_8=3\times8^2+7\times8^1+4\times8^0+2\times8^{-1}+5\times8^{-2}$$

4. 十六进制(Hexadecimal)

十六进制的基数为 16,有 16 个数码:0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F,其中 A~F 分别表示 10~15,逢 16 进 1。各位的权为 16 的乘方。例如十六进制数 $(D5E8.A3)_{16}$ 按权展开为

$$(D5E8.A3)_{16}=13\times16^3+5\times16^2+14\times16^1+8\times16^0+10\times16^{-1}+3\times16^{-2}$$

5. 任意进制

r 进制的基数为 r ,有 r 个数码:0,1,2,...,($r-1$),逢 r 进 1。各位的权为 r 的乘方。例如七进制数 $(345.61)_7$ 按权展开为

$$(345.61)_7=3\times7^2+4\times7^1+5\times7^0+6\times7^{-1}+1\times7^{-2}$$

为便于对照,将十进制、二进制、八进制和十六进制之间的关系列于表 1-2 中。

表 1-2 几种数制之间的关系对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	00000	0	0
1	00001	1	1
2	00010	2	2
3	00011	3	3
4	00100	4	4
5	00101	5	5
6	00110	6	6
7	00111	7	7
8	01000	10	8
9	01001	11	9
10	01010	12	A
11	01011	13	B

(续表)

十进制	二进制	八进制	十六进制
12	01100	14	C
13	01101	15	D
14	01110	16	E
15	01111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11

1.3 数制间的转换

1.3.1 r 进制转换成十进制

从上一节可以看出,各种进制数按权展开就已经完成了各种进制向十进制的转换。

【例 1-1】 将二进制数 $(101011.011)_2$ 转换为十进制数。

解 $(101011.011)_2 = (1 \times 2^5 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3})_{10}$
 $= (43.375)_{10}$

【例 1-2】 将八进制数 $(1047.5)_8$ 转换为十进制数。

解 $(1047.5)_8 = (1 \times 8^3 + 4 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1})_{10} = (551.625)_{10}$

【例 1-3】 将十六进制数 $(A6.C)_{16}$ 转换为十进制数。

解 $(A6.C)_{16} = (10 \times 16^1 + 6 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1})_{10} = (166.75)_{10}$

1.3.2 十进制转换成 r 进制

转换原则如下:将十进制数的整数部分除以 r 取余数,直到商为 0,将余数逆序排列,得到 r 进制数的整数部分;将十进制数的小数部分乘以 r ,取出乘积的整数部分,剩下的部分继续乘以 r ,直到满足误差要求,将乘积的整数部分顺序排列获得 r 进制数的小数部分。

【例 1-4】 将十进制数 45.28 转换成二进制数(取四位小数)。

解

商		余	
2	45	1	低位
2	22	0	
2	11	1	
2	5	1	
2	2	0	
2	1	1	高位
	0		

高位	0.28
	$\times 2$
0	$\leftarrow (0).56$
	$\times 2$
1	$\leftarrow (1).12$
	$\times 2$
0	$\leftarrow (0).24$
	$\times 2$
0	$\leftarrow (0).48$
低位	

所以有

$$(45.28)_{10} = (101101.0100)_2$$

【例 1-5】 将十进制数 348.27 转换成八进制数(取两位小数)。

解

8	348		4	↑ 低位 高位
8	43		3	
8	5		5	
	0			

		0.27	
		× 8	
高位	2	←	(2).16
		× 8	
低位	1	←	(1).28

所以有

$$(348.27)_{10} = (534.21)_8$$

【例 1-6】 将十进制数 4021.78 转换成十六进制数(取两位小数)。

解

16	4021		5	↑ 低位 高位
16	251		11	
16	15		15	
	0			

		0.78	
		× 16	
		468	
		78	
高位	12	←	(12).48
		× 16	
		288	
		48	
低位	7	←	(7).68

所以有

$$(4021.78)_{10} = (\text{FB}5.\text{C}7)_{16}$$

1.3.3 二进制与八进制间的转换

八进制数的基数 8 是 2 的幂, 即 $8=2^3$, 因此可用三位二进制数表示一位八进制数。将二进制数转换成八进制数时, 以小数点为界, 向左、右两侧每三位分成一组(不够三位添 0), 每组转换为一位八进制数。

【例 1-7】 将二进制数 $(10111101.1101)_2$ 转换成八进制数。

解

$$(010\ 111\ 101.\ 110\ 100)_2 = (275.64)_8$$

【例 1-8】 将八进制数 $(3641.256)_8$ 转换成二进制数。

解

$$(3641.256)_8 = (11110100001.01010111)_2$$

1.3.4 二进制与十六进制间的转换

十六进制数的基数 16 是 2 的幂, 即 $16=2^4$, 因此可用四位二进制数表示一位十六进制数。将二进制数转换成十六进制数时, 以小数点为界, 向左、右两侧每四位分成一组(不够四位添 0), 每组转换为一位十六进制数。

【例 1-9】 将二进制数 $(101110110100.1001111011)_2$ 转换成十六进制数。

解

$$(0101\ 1101\ 1010\ 0100.\ 1111\ 0110)_2 = (5\text{DA}4.\text{F}6)_{16}$$

【例 1-10】 将十六进制数 $(\text{B}2\text{E}.57)_{16}$ 转换成二进制数。

解

$$(\text{B}2\text{E}.57)_{16} = (101100101110.01010111)_2$$

由于八进制数和十六进制数书写比二进制数方便, 而且很容易与二进制数相互转换,