

TN79-43
W 218

0637140

邮电高等学校教材

数字电路与逻辑设计

(修订本)

王树堃 徐惠民 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书是在第一版的基础上依据国家教委批准的高等工业学校电子技术课程基本要求,经过试验完善、修改增删而成。

全书共分十章、主要内容包括:计数制、逻辑代数基础、晶体管开关特性、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、可编程逻辑器件、脉冲波形产生与整形、A/D 与 D/A 转换器及数字系统设计等。

本书叙述清楚,具有较多的设计实例与习题,并注重实际应用及适量增加具有发展前景的技术问题。

本书可作为高等工业学校电子类、通信类及计算机类专业的技术基础课教材,也可供专科学校选用及有关专业工程技术人员参考。

邮电高等学校教材 数字电路与逻辑设计(修订本)

王树堃 徐惠民 编著

责任编辑 滑 玉

*

人民邮电出版社出版发行

北京朝阳门内南竹杆胡同 111 号

人民邮电出版社河北印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 1995 年 12 月 第 一 版

印张:16.5

1995 年 12 月河北第 1 次印刷

字数:436 千字

印 数: 1—2 000 册

ISBN 7-115-05638-2/TN·884

定价:16.00 元

第二版 前 言

自《数字电路与逻辑设计》第一版至今,已经历了5年。在这期间,电子技术及应用有了很大发展,为适应新技术的迅猛发展与教学改革不断深入,本教材也需要完善与更新。

在第一版的基础上,根据国家教委批准的高等工业学校电子技术课程基本要求和迅速发展的新技术,第二版削减和增加了一些内容,主要修改有以下内容:

1. 在基本保持第一版课程体系的原则下作了较大的调整。将第一版的三、四章合为一章,避免部分内容重复,删去并精简了小规模电路的内容,加强了中规模组件及其应用。将第一版的第六章和第七章进行了调整,将常用的时序电路及其中规模组件合为一章,而将一般型同步时序电路和异步时序电路单独作为一章。这种调整,一方面便于讲授,符合学生由浅入深,由典型到一般的认识规律,同时也可以根据不同学生层次便于选材取舍。

2. 鉴于可编程逻辑器件在数字系统中越来越得到广泛应用,修订本增强了这部分内容,单独列为一章。对于可编程逻辑器件的应用与编程作了较详细的介绍,以达到掌握的目的。

3. 在内容上,第二章增加一节晶体管开关特性,为逻辑门的学习作知识准备,可以不受模拟电路教学内容限制。在这一章中削减了 I^2L 电路,ECL电路,加强了CMOS电路。第九章增加了A/D、D/A转换器新技术,加宽加深的内容可作为选学内容。

4. 第十章数字系统设计作了较大修改,介绍了数字系统的描述算法与设计方法。对于传统设计方法也举例予以说明。

本书由王树堃主持修订,参加修订工作的有王树堃(第1~3章,8~10章),徐惠民(第4~7章)。在修订过程中,宋廉泉,安德宁、

李涵秋、张平等老师提出过许多宝贵意见,编者在此致以诚挚的谢意。

编 者

1994年10月

第一版 前 言

本书是依据国家教委及邮电部颁布的关于本课程的基本要求编写的教材。

数字技术是近十几年来发展最迅速的学科之一。十几年之前,我国普遍使用的还只是小规模数字集成电路。而在今天,各种中规模数字集成电路已得到广泛的使用;通用型的大规模可编程逻辑器件如PAL、GAL等也都迅速地被实际使用;各种专用集成电路也普遍引起各行各业的注意。此外,随着计算机技术的发展,数字电路和数字系统的设计也越来越多地采用计算机辅助设计技术。

本书编写的宗旨是,一方面要满足本课程对基本理论和基本设计方法所提出的各种要求,为学生从事数字逻辑电路设计 and 学习专业课程打下坚实的基础;另一方面,也要考虑数字技术的近期发展,反映这些发展中所需要的基本知识和方法,使学生能更好地适应实际工作的需要。为此,除了用相当篇幅叙述以小规模集成电路为基础的 digital 电路和逻辑设计技术之外,适当增强了中、大规模集成电路的内容,介绍了近年来开始得到使用的器件PAL和GAL,对专用集成电路也作了简略介绍。在最后一章中,则对如何以计算机作为工具进行数字系统的描述和设计作了初步介绍。此外,还讨论了脉冲波形的产生和变换以及数模和模数转换技术。

本书的原稿已在北京邮电学院电信工程系和计算机系多次使用。在使用中安德宁和李涵秋同志都曾提出过宝贵意见。在教材评审时,各兄弟院校的同行专家们也提出了不少中肯的意见。在此,我们表示诚挚的谢意。

本书由徐惠民主持编写。第1~4章,第8、9章由王树堃编写;第5~7章由徐惠民编写,第10章由王占宁编写。

由于我们水平有限,书中不足之处在所难免,敬请各位老师和读者不吝指正。

作者 1990 年元月

目 录

第一章 数字技术基础	1
1.1 数制和编码	1
一、计数制	1
二、各进位制之间的转换	4
三、编码	7
1.2 逻辑代数基础	12
一、基本的逻辑运算	13
二、逻辑代数的基本定律和规则	16
三、几种导出逻辑	20
1.3 逻辑函数的两种标准表达式	25
一、最小项与逻辑函数的最小项表达式	25
二、最大项与逻辑函数的最大项表达式	27
1.4 逻辑函数的化简	29
一、代数化简法	30
二、卡诺图化简法	32
习题	43
第二章 逻辑门电路	48
2.1 晶体管的开关特性	48
一、二极管的开关特性	48
二、三极管的开关特性	50
2.2 二极管门电路	53
一、二极管与门电路	53
二、二极管或门电路	54
三、正逻辑与负逻辑	56
2.3 反相器(非门)	57
一、反相器的工作原理	57

二、反相器的负载能力	59
2.4 TTL 集成逻辑门	62
一、TTL 与非门工作原理	63
二、TTL 与非门的特性及参数	65
三、改进型的 TTL 电路	72
四、其它类型的 TTL 门电路	76
2.5 发射极耦合逻辑门电路(ECL)	83
一、ECL 电路的工作原理	83
二、ECL 电路的主要性能与逻辑功能扩展	86
2.6 MOS 集成门电路	88
一、NMOS 反相器	88
二、MOS 门电路	93
2.7 CMOS 逻辑门	96
一、CMOS 反相器	96
二、CMOS 门电路	99
三、CMOS 三态门与传输门	100
四、CMOS 输入端保护电路	102
2.8 CMOS 与 TTL 电路的连接	104
一、逻辑电平的配合	104
二、驱动能力的配合	105
习题	105
第三章 组合电路的分析和设计	114
3.1 组合逻辑电路的分析	114
3.2 小规模组合电路的设计	117
一、由问题的文字描述作出真值表	118
二、逻辑函数的实现	119
三、组合电路设计中的一些实际问题	122
四、组合电路设计实例	132
3.3 组合逻辑电路的冒险	140
一、逻辑冒险与消除方法	141
二、功能冒险与消除方法	145

3.4 常用的中规模组合电路与应用	150
一、集成数码比较器	151
二、编码器与优先编码器	156
三、译码器	160
四、数据选择器	170
五、数据分配器	178
六、奇偶校验与可靠性编码	179
七、运算电路	184
习题	190
第四章 集成触发器	201
4.1 触发器的基本特性及其记忆作用	201
4.2 基本 RS 触发器	202
4.3 钟控触发器	207
一、钟控 RS 触发器	207
二、钟控 D 触发器	208
三、锁存器	208
4.4 TTL 集成主从触发器	210
一、基本工作原理	210
二、主从 JK 触发器的一次翻转	213
三、异步置 0 置 1 输入	215
四、T 触发器	216
4.5 集成边沿触发器	217
一、负边沿 JK 触发器	217
二、维持—阻塞 D 触发器	219
4.6 CMOS 触发器	222
4.7 集成触发器的参数	226
一、直流参数	226
二、时间参数	227
习题	228
第五章 常用时序逻辑电路	234
5.1 常用同步时序电路的分析	234

一、计数器	234
二、寄存器和移位寄存器	238
5.2 常用同步时序电路的设计	241
一、设计步骤	242
二、同步计数器的设计	242
三、移存型计数器	247
四、序列信号发生器	251
五、M 序列发生器	255
六、脉冲分配器	260
5.3 异步计数器	262
一、异步计数器的分析	262
二、异步计数器的设计	266
5.4 中规模集成计数器	269
一、异步中规模计数器	269
二、同步中规模计数器	272
三、中规模计数器的应用	281
四、中规模计数器的级联	286
5.5 中规模移位寄存器	288
一、中规模移位寄存器的工作方式	288
二、中规模移位寄存器的应用	291
习题	299
第六章 一般型时序电路的分析与设计	308
6.1 同步时序电路的描述	308
6.2 同步时序电路的分析	311
6.3 同步时序电路的设计	315
一、状态表的建立	315
二、状态表的简化	321
三、状态编码	330
6.4 电位型异步时序电路及其特点	337
6.5 异步时序电路中的竞争和冒险	341
习题	344

第七章 可编程逻辑器件	350
7.1 只读存储器	351
一、只读存储器的结构	352
二、只读存储器的种类	354
三、只读存储器的应用	357
7.2 可编程逻辑阵列(PLA)	360
一、PLA 的结构特点	360
二、PLA 的应用	361
7.3 可编程阵列逻辑(PAL)	368
一、PAL 的结构特点	368
二、PAL 的基本类型	369
三、PAL 器件的命名方法	371
四、PAL 的设计过程	374
7.4 通用阵列逻辑(GAL)	377
一、输出逻辑宏单元	378
二、典型 GAL 器件介绍	382
三、用 GAL 器件进行逻辑设计	382
* 7.5 PLD 设计软件 ABEL	384
一、用 ABEL 软件设计 PLD 系统	384
二、ABEL 源文件的基本结构	386
三、ABEL 基本语法	387
四、ABEL 语句说明	391
五、GAL 和 PAL 设计举例	396
7.5 可编程门阵列 FPGA	402
习题	407
第八章 脉冲波形的产生与整形	410
8.1 集成定时器 555	410
8.2 单稳态电路	412
一、逻辑门构成单稳态电路	413
二、用 555 电路构成单稳态电路	416
三、集成单稳态触发器	419

四、单稳态电路应用	423
8.3 施密特触发器	424
一、逻辑门构成施密特触发器	425
二、用 555 电路构成施密特电路	427
三、集成施密特触发器	428
四、施密特电路的应用	430
8.4 多谐振荡器	431
一、用 555 定时器构成多谐振荡器	431
二、石英晶体多谐振荡器	434
习题	435
第九章 数模与模数转换	442
9.1 数模转换器(DAC)	443
一、权电阻解码网络 DAC	443
二、T 型解码网络 DAC	445
三、电流型 DAC 电路	448
四、双极性 DAC 电路	450
五、电子模拟开关	452
六、DAC 的主要技术指标	453
七、集成 DAC 举例	454
9.2 模数转换器(ADC)	456
一、A/D 转换的一般过程	456
二、逐次逼近型 A/D 转换器	459
三、双积分型 A/D 转换器	462
四、电压频率变换器 VFC	464
五、ADC 的主要技术指标	466
六、集成 ADC 举例	467
习题	470
第十章 数字系统设计	473
10.1 算法状态机(ASM)	474
一、ASM 图符号	474
二、ASM 图法设计举例	477

10.2 寄存器传输语言	481
一、寄存器传输语言的几种操作	482
二、运用寄存器传送语言设计举例	487
10.3 数字系统设计	491
10.4 传统设计方法	499
一、设计步骤	499
二、设计实例	499
习题	505
参考资料	508
附录 图形符号说明	509

第一章 数字技术基础

这一章将介绍数字技术的基础知识、数字电路中常用的计数制以及分析与设计数字逻辑电路的理论基础——逻辑代数。

1.1 数制和编码

本节从人们习惯的十进制开始,分析、推导各种不同进位制及各种进位制之间的相互转换。着重讨论数字计算机及其他数字设备中广泛采用的二进制,并介绍几种常用编码。

一、计数制

1. 十进计数制

十进制数是用 0~9 十个基本数字符号来表示数值,通常把这些数字符号称为数码。数码处于不同的位置,代表的数值不同,称为权。例如,十进制数 482.65,从小数点开始,左起第一位为个位,其权为 10^0 ,第二位为十位,其权为 10^1 ,第三位为百位,其权为 10^2 ...;而从小数点起向右,则第一位为十分位,权为 10^{-1} ,第二位则为百分位,权为 10^{-2} ,因此 482.65 可写成:

$$482.65 = 4 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

任意一个十进制数 N 都可以表示为按权展开式

$$\begin{aligned}
 (N)_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + \\
 &\quad a^1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + a_{-1} \times 10^{-1} + \\
 &\quad a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i 10^i
 \end{aligned}$$

式中 n 为整数的位数, m 为小数的位数。 a_i 为 0~9 十个数码中任何一个, 由 N 决定。 10 称为十进制的基数。 所谓进位制的基数, 就是在该进位制中可能用到数码的个数。 十进制运算规律是逢十进一和借一当十。 $(N)_{10}$ 中的下标为基数。 表示基数为 10 的十进制数。

2. 二进计数制

与十进制对比, 二进计数制中只有 0 和 1 两个数码来表示数值, 采用逢二进一和借一当二的运算规律。 因进位基数是 2, 故称二进计数制。

在二进制中, 数码 1 所处的位置不同表示的数值也不同, 即权不同。 和十进制相似, 在二进制中 1 在某一位所表示的数, 称为这一位的权。 因此, 二进制整数从低位到高位 1 的权分别是 2^0 、 2^1 、 2^2 ……, 应用权的概念, 可以将一个二进制数写成按权展开式, 如

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

任意一个二进制数 N , 都可表示为

$$\begin{aligned}
 (N)_2 &= b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + \\
 &\quad b^1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + b_{-1} \times 2^{-1} + \\
 &\quad b_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i
 \end{aligned}$$

式中 b_i 只能取 0 或 1。

掌握二进制的基本要求是熟悉二进制的权(2 的幂), 表 1-1 列出了 i 从 0 到 10 的二进制的权。 熟悉二进制的权, 对估计一个较大的十进制数需用多少位二进制表示是很有帮助的。

表 1-1

二 进 制 的 权

i	2^i	2^{-i}
0	1	1.0
1	2	0.5
2	4	0.25
3	8	0.125
4	16	0.0625
5	32	0.03125
6	64	0.015625
7	128	0.0078125
8	256	0.00390625
9	512	0.001953125
10	1024	0.0009765625

3. 八进制与十六进制计数制

二进制便于机器识别和运算,但二进制数的位数多,读起来困难,写起来太长。为了弥补二进制书写太长的缺点,常采用八进制和十六进制。

在八进制中,基数为 8。使用 0~7 这八个数码,采用逢八进一的运算规律。任何一个八进制数 N ,都可以写成按权展开式

$$\begin{aligned}
 (N)_8 &= k_{n-1} \times 8^{n-1} + k_{n-2} \times 8^{n-2} + \dots \\
 &\quad + k_1 \times 8^1 + k_0 \times 8^0 + k_{-1} \times 8^{-1} + \dots + k_{-m} \times 8^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 8^i
 \end{aligned}$$

如: $(1307.4)_8 = 1 \times 8^3 + 3 \times 8^2 + 0 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1}$

十六进制的基数为 16,共有十六个数码,即 0~9 及 A、B、C、D、E、F。符号 A~F 分别代表十进制数的 10~15。它的运算规则是逢十六进一。任何一个十六进制数 N 都可以写成多项式,形式为:

$$\begin{aligned}
 (N)_{16} &= k_{n-1} \times 16^{n-1} + k_{n-2} \times 16^{n-2} + \dots \\
 &\quad + k_1 \times 16^1 + k_0 \times 16^0 + k_{-1} \times 16^{-1} \\
 &\quad + k_{-2} \times 16^{-2} + k_{-m} \times 16^{-m}
 \end{aligned}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 16^i$$

例如: $(AB57.C)_{16} = A \times 16^3 + B \times 16^2 + 5 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + C \times 16^{-1}$

上述几种进位制的规则也可以推广到任意进制 R , 表达如下:

R 进制有 R 个数码, 它们是 $0, 1, \dots, (R-1)$, 它的规则是以 R 为基数, 逢 R 进一, 其按权展开式为

$$\begin{aligned} (N)_R &= k_{n-1} \times R^{n-1} + k_{n-2} \times R^{n-2} + \dots \\ &\quad + k_1 \times R^1 + k_0 \times R^0 + k_{-1} \times R^{-1} + k_{-2} \times R^{-2} + \dots \\ &\quad + k_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times R^i \end{aligned}$$

二、各进位制之间的转换

1. 十进制和非十进制之间的转换

(1) 非十进制数转换为十进制数

由任意的非十进制数 R 转换为十进制数, 只要写出 R 进制按权的展开式, 然后相加, 就可得出等值的十进制数。

例 1-1 将二进制数 $(11010.01)_2$ 转换为等值的十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (11010.01)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + \\ &\quad 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 16 + 8 + 2 + 0.25 \\ &= (26.25)_{10} \end{aligned}$$

例 1-2 将十六进制数 $(8A3D.C)_{16}$ 转换为等值的十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解: } (8A3D.C)_{16} &= 8 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 3 \times 16^1 \\ &\quad + 13 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} \\ &= (35389.75)_{10} \end{aligned}$$

(2) 十进制转换为非十进制数

将十进制数转换为 R 进制数常用的方法是基数连除、连乘法。