

29644

高职高专

现代信息技术系列教材

数字电子技术 与实训教程

郭建华 主编

何莉 陈新岗 包明 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

高职高专现代信息技术系列教材

数字电子技术与实训教程

郭建华 主编
何莉 陈新岗 包明 副主编

人民邮电出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术与实训教程/郭建华主编. —北京: 人民邮电出版社, 2004. 9

(高职高专现代信息技术系列教材)

ISBN 7-115-12502-3

I. 数... II. 郭... 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 (2004) 第 077898 号

内 容 提 要

本书结合高等职业技术教育的人才培养目标和教学特点, 在内容安排上, 以培养应用能力和实践技能为目的, 强化基础, 精选内容, 深入浅出地讲述数字集成电路的基本工作原理和逻辑功能, 突出中规模集成电路的应用。

本书共分 8 章, 包括数字电子技术基础、组合逻辑电路、触发器和时序逻辑电路、脉冲信号产生与变换电路、数/模与模/数转换器、半导体存储器、可编程逻辑器件及其应用和数字电路的仿真。为配合理论教学, 还编写了《数字电子技术学习辅导与习题解析》一书, 以帮助学生克服在学习中遇到的困难。

本书可作为高等职业技术学校、高等专科学校、成人高等学校的电子信息、计算机、自动化、电气与机电一体化等专业的教材, 也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

高职高专现代信息技术系列教材

数字电子技术与实训教程

◆ 主 编 郭建华

副 主 编 何 莉 陈新岗 包 明

责任编辑 赵慧君

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129259

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 15

字数: 354 千字

2004 年 9 月第 1 版

印数: 1—5 000 册

2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12502-3/TP·4119

定价: 20.00 元

本书如有印装质量问题, 请与本社联系 电话: (010)67129223

高职高专现代信息技术系列教材

编委会名单

主 编 高 林

执行主编 张强华

委 员 （以姓氏笔画为序）

吕新平 林全新 郭力平 程时兴

丛书前言

江泽民总书记早在十五大报告中提出了培养数以亿计高素质的劳动者和数以千万计专门人才的要求,指明了高等教育的发展方向。只有培养出大量高素质的劳动者,才能把我国的人数优势转化为人才优势,提高全民族的竞争力。因此,我国近年来十分重视高等职业教育,把高等职业教育作为高等教育的重要组成部分,并以法律形式加以约束与保证。高等职业教育由此进入了蓬勃发展时期,驶入了高速发展的快车道。

高等职业教育有其自身的特点。正如教育部“面向 21 世纪教育振兴行动计划”所指出的那样,“高等职业教育必须面向地区经济建设和社会发展,适应就业市场的实际需要,培养生产、管理、服务第一线需要的实用人才,真正办出特色。”因此,不能以本科压缩和变形的形式组织高等职业教育,必须按照高等职业教育的自身规律组织教学体系。为此,我们根据高等职业教育的特点及社会对教材的普遍需求,组织高等职业学校有丰富教学经验的老师,编写了这套《高职高专现代信息技术系列教材》。

本套教材充分考虑了高等职业教育的培养目标、教学现状和发展方向,在编写中突出了实用性。本套教材重点讲述目前在信息技术行业实践中不可缺少的、广泛使用的、从业人员必须掌握的实用技术。即便是必要的理论基础,也从实用的角度、结合具体实践加以讲述。大量具体的操作步骤、许多实践应用技巧、接近实际的实训材料保证了本套教材的实用性。

在本套教材编写大纲的制定过程中,广泛收集了高等职业学院的教学计划,调研了多个省市高等职业教育的实际,反复讨论和修改,使得编写大纲能最大限度地符合我国高等职业教育的要求,切合高等职业教育实际。

在选择作者时,我们特意挑选了在高等职业教育一线的优秀骨干教师。他们熟悉高等职业教育的教学实际,并有多年的教学经验;其中许多是“双师型”教师,既是教授、副教授,同时又是高级工程师、认证高级设计师;他们既有坚实的理论知识,很强的实践能力,又有较多的写作经验及较好的文字水平。

目前我国许多行业开始实行劳动准入制度和职业资格制度,为此,本套教材也兼顾了一些证书考试(如计算机等级考试),并提供了一些具有较强针对性的训练题目。

对于本套教材我们将提供教学支持(如提供电子教案等),同时注意收集本套教材的使用情况,不断修改和完善。

本套教材是高等职业学院、高等技术学院、高等专科学院教材。适用于信息技术的相关专业,如计算机应用、计算机网络、信息管理、电子商务、计算机科学技术、会计电算化等。也可供优秀职高学校选作教材。对于那些要提高自己的应用技能或参加一些证书考试的读者,本套教材也不失为是一套较好的参考书。

最后,恳请广大读者将本套教材的使用情况及各种意见、建议及时反馈给我们,以便我们在今后的工作中,不断改进和完善。

编者的话

本书根据教育部颁发的《关于加强高职高专教育人才培养工作意见》，结合电子信息、计算机及相关专业教学大纲的要求，以及多年从事电子技术教学实践的经验和体会，参考国内外数字电子技术教材编写而成。

随着科学技术和数字电子技术的发展，新器件、新知识、新工艺在数字电子技术中得到广泛应用，本书结合高等职业教育的特点，力求面向未来、更新内容，在保证基本概念、基本原理和基本分析与设计方法的前提下，简化集成电路的内部结构和工作原理的描述，减少小规模集成电路的内容，加大新型中规模集成电路及其应用的内容。

通过本书的学习，学生可以掌握数字电子技术的基本理论，数字电路的逻辑功能、特点和基本分析方法，掌握常用中规模数字集成电路的使用方法，并具有一定的实践能力，为后续课程的学习以及今后的工作打下良好的基础。为使学生能及时巩固所学知识，每章后面都安排了部分习题。同时，为了理论与实践的结合，培养学生的实践技能，每章后面都安排了技能训练，各个学校可根据本校具体情况选用。为了配合理论教学，我们还组织编写了《数字电子技术学习辅导与习题解析》一书，以帮助学生克服在学习中遇到的困难。

本书第1章由郭建华编写，第4章由涂巧玲编写，第2章、第5章由何莉编写，第3章、第6章由陈新岗编写，第7章、第8章由包明编写，郭建华负责全书的最后修改和统稿工作。

由于编者水平有限，且时间仓促，书中难免存在疏漏和错误之处，殷切希望广大读者在使用中批评和指正。

编者

2004年6月

目 录

第1章 数字电子技术基础	1
1.1 概述	1
1.2 数制与编码	2
1.2.1 进位计数制	2
1.2.2 不同数制之间的转换	4
1.2.3 编码	5
1.3 逻辑代数及逻辑函数的化简	6
1.3.1 逻辑代数、逻辑变量和逻辑函数	6
1.3.2 逻辑代数中的3种基本运算	7
1.3.3 复合逻辑运算	9
1.3.4 逻辑代数的基本公式和基本定理	10
1.3.5 逻辑函数的化简	12
1.4 集成逻辑门电路	20
1.4.1 TTL 门电路	21
1.4.2 CMOS 门电路	30
1.4.3 逻辑门电路中的几个实际问题	35
1.5 技能训练	38
本章小结	43
习题	43
第2章 组合逻辑电路	47
2.1 概述	47
2.2 组合逻辑电路的分析与设计	47
2.2.1 组合逻辑电路的一般分析方法	47
2.2.2 组合逻辑电路分析举例	48
2.2.3 组合逻辑电路的一般设计方法	49
2.2.4 组合逻辑电路设计举例	49
2.3 编码器	53
2.3.1 二进制编码器	53
2.3.2 二—十进制编码器	54
2.3.3 优先编码器	55
2.4 译码器	58
2.4.1 二进制译码器	58
2.4.2 二—十进制译码器	61
2.4.3 数字显示译码器	62
2.5 数据选择器及数据分配器	66

2.5.1 数据选择器	66
2.5.2 数据分配器	69
2.6 数值比较器	70
2.7 组合逻辑电路中的竞争—冒险	73
2.8 技能训练	75
本章小结	81
习题	81
第3章 触发器与时序逻辑电路	84
3.1 触发器	84
3.1.1 概述	84
3.1.2 基本 RS 触发器	85
3.1.3 钟控 RS 触发器	87
3.1.4 主从 RS 触发器	89
3.1.5 边沿触发器	92
3.1.6 触发器的逻辑功能分类及功能转换	95
3.1.7 触发器的合理选用	96
3.2 时序逻辑电路	97
3.2.1 概述	97
3.2.2 时序逻辑电路的分析	97
3.2.3 计数器	100
3.2.4 集成计数器及其应用	105
3.2.5 寄存器及其应用	114
3.3 技能训练	120
本章小结	123
习题	124
第4章 脉冲信号的产生与变换电路	128
4.1 概述	128
4.2 555 定时器	129
4.2.1 555 定时器分类	129
4.2.2 555 定时器的电路组成	129
4.2.3 555 定时器的功能	130
4.3 施密特触发器	131
4.3.1 施密特触发器的特点	131
4.3.2 由门电路组成的施密特触发器	132
4.3.3 集成施密特触发器	133
4.3.4 由 555 定时器组成的施密特触发器	133
4.3.5 施密特触发器的应用	134
4.4 单稳态触发器	135
4.4.1 单稳态触发器的特点	135

4.4.2 集成单稳态触发器	136
4.4.3 由 555 定时器组成的单稳态触发器	138
4.4.4 单稳态触发器的用途	138
4.5 多谐振荡器	139
4.6 技能训练	140
本章小结	144
习题	144
第 5 章 数/模和模/数转换器	146
5.1 概述	146
5.2 D/A 转换器	147
5.2.1 数/模转换的工作原理	147
5.2.2 D/A 转换器的主要技术指标	149
5.2.3 集成 DAC 器件	150
5.3 A/D 转换器	152
5.3.1 模/数转换的工作原理	152
5.3.2 A/D 转换器的主要技术指标	158
5.3.3 集成 ADC 器件	158
5.4 技能训练	160
本章小结	164
习题	164
第 6 章 半导体存储器	166
6.1 概述	166
6.2 只读存储器	167
6.2.1 只读存储器的结构和工作原理	167
6.2.2 只读存储器的编程及分类	168
6.3 随机存取存储器	171
6.3.1 随机存取存储器的结构和工作原理	171
6.3.2 6264 型随机存取存储器简介	172
6.4 存储器容量扩展	173
6.5 技能训练	175
本章小结	176
习题	176
第 7 章 可编程逻辑器件及其应用	178
7.1 概述	178
7.2 可编程逻辑器件的基本结构	179
7.2.1 PLD 的结构	179
7.2.2 复杂可编程逻辑器件的结构	184
7.2.3 现场可编程门阵列的结构	186
7.3 可编程逻辑器件的开发软件 MAX-PLUS II	187

7.3.1 设计输入	188
7.3.2 项目编译	192
7.3.3 模拟仿真	192
7.3.4 器件编程	193
7.4 可编程逻辑器件的设计	194
7.4.1 可编程逻辑器件的设计方法	194
7.4.2 可编程逻辑器件的设计流程	195
7.5 设计实例	197
本章小结	203
习题	203
第8章 数字电路的仿真——Electronics Workbench 的应用	205
8.1 概述	205
8.1.1 EWB 的特点	206
8.1.2 EWB 的设计过程	206
8.2 EWB 的基本操作方法	207
8.2.1 EWB 的界面	207
8.2.2 电路的创建	208
8.2.3 子电路的生成与使用	210
8.2.4 生成网表文件	211
8.3 元件库和仿真仪表	212
8.3.1 元件库简介	212
8.3.2 数字逻辑电路元件	215
8.3.3 仪器仪表	215
8.4 数字逻辑电路的仿真	220
8.5 仿真实例	221
本章小结	227
习题	227
参考文献	228

第 1 章 数字电子技术基础

本章首先讲述数字电路中常见的数制和码制，然后重点讨论逻辑代数基础以及数字电路中的基本单元——逻辑门电路。

逻辑代数是分析和设计数字电路的数学工具，本章在介绍逻辑代数的基本概念、基本公式和基本定理的基础上，着重讲述逻辑函数的 5 种表示方法（真值表、逻辑表达式、逻辑图、卡诺图和波形图）及其相互转换、逻辑函数的公式化简法和卡诺图化简法。

1.1 概 述

1. 数字电路和模拟电路

电子电路中的信号分为两大类：一类是模拟信号，指在时间和数值上都是连续变化的信号，如音频电压信号等；另一类是数字信号，指在时间和数值上都是离散的信号，如各种脉冲信号等。工作在模拟信号下的电子电路称为模拟电路，工作在数字信号下的电子电路称为数字电路，后者就是本书所要讨论的内容。

2. 数字电路的特点

数字电路处理的信号包括反映数值大小的数字量信号和反映事物因果关系的逻辑量信号，它们是在时间和数值上都不连续变化的离散信号，在数字电路中用高、低电平表示，在运算中则用“0”和“1”来表示，因此数字电路具有以下特点。

① 数字电路所研究的问题是输入的高、低电平与输出的高、低电平之间的因果关系，称为逻辑关系。它只规定高电平的下限值 $U_{H(\min)}$ 和低电平的上线值 $U_{L(\max)}$ ，凡大于 $U_{H(\min)}$ 都认为是高电平，凡小于 $U_{L(\max)}$ 都认为是低电平，而不着重研究它们具体的数值。

② 研究数字电路逻辑关系的主要工具是逻辑代数。在数字电路中，输入信号也称为输入变量，输出信号称为输出变量，也称逻辑函数，它们均为二值量，非“0”即“1”。逻辑函数为二值函数，逻辑代数概括了二值函数的表示方式、运算规律及变换规律。

③ 由于数字电路的输入和输出变量都只有两种状态，因此组成数字电路的半导体器件绝大多数工作在开关状态。当它们导通时相当于开关闭合，当它们截止时相当于开关断开。

④ 数字电路不仅可以对信号进行算术运算，而且还能够进行逻辑判断，即具有一定的逻辑运算能力，这就使它能在数字计算机、数字控制、数据采集和处理和数字通信等领域中获得广泛的应用。

⑤ 因为数字电路的主要研究对象是电路的输入和输出之间的逻辑关系, 所以, 数字电路也称为逻辑电路。它的一套分析方法也与模拟电路不同, 采用的是逻辑代数、真值表、卡诺图、特性方程、状态转换图和时序波形图等。

随着电子工业的飞速发展, 数字电路的集成度越来越高, 正以功能齐全、价格低廉、可靠性高而被广泛地应用于国民经济的各个领域。

1.2 数制与编码

数字电路中经常要遇到计数问题。先从熟悉的十进制计数入手, 分析推导出一般的进位计数规则, 并由此引入各种不同的进位计数制和不同数制间的转换方法, 同时, 介绍几种常用的十进制代码表示法。

1.2.1 进位计数制

1. 十进制 (Decimal Number System)

十进制用 0, 1, 2, …, 9 十个不同的数表示, 并按一定的规律排成序列计数。数字的个数称作数制的“基数”。十进制就是以 10 为基数的计数体制。

当数字处于数字序列的不同位置(数位)时, 它所表示的数值也不同。例如, 十进制数 234 可写成:

$$(234)_{10} = 2 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

这里用括号和下标“10”表示十进制数。十进制数的排序规律是最高位在左、最低位在右。各个数位依次用 $10^n, \dots, 10^2, 10^1, 10^0, \dots, 10^{-m}$ 标明各位所代表的数值, 称之为“权”。相邻两位的权值正好相差 10 倍, 即逢十进一。按此规律, 任意一个十进制数 $(N)_{10}$ 都可以写成按权展开式:

$$\begin{aligned} (N)_{10} &= k_n \times 10^n + k_{n-1} \times 10^{n-1} + \dots + k_1 \times 10^1 + k_0 \times 10^0 + k_{-1} \times 10^{-1} + \dots + k_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n k_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 n 和 m 均为正整数, k_i 可为 10 个数中的任意一个。

综上所述, 十进制数的基本特点如下。

- ① 用 0, 1, 2, …, 9 来表示, 基数为 10。
- ② 计数规律是“逢十进一”, 或“借一当十”。

2. 二进制 (Binary Number System)

二进制数与十进制数的排序规律相同, 区别在于它们的基数不同。二进制数的基本特点如下。

- ① 用 0 和 1 两个数表示, 基数为 2。
- ② 计数规律是“逢二进一”, 或“借一当二”。

任意一个二进制数 $(N)_2$ 。可写成按权展开式:

$$\begin{aligned} (N)_2 &= k_n \times 2^n + k_{n-1} \times 2^{n-1} + \dots + k_1 \times 2^1 + k_0 \times 2^0 + k_{-1} \times 2^{-1} + \dots + k_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^n k_i \times 2^i \end{aligned} \quad (1-2)$$

二进制的运算规则如下。

加法: $0+0=0$ $1+0=1$ $0+1=1$ $1+1=10$ 乘法: $0 \times 0 = 0$ $0 \times 1 = 0$ $1 \times 0 = 0$ $1 \times 1 = 1$ **例 1.1** 求二进制数 $(110111)_2$ 所对应的十进制数。

解: $(N)_2 = (110111)_2 = 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$
 $= 32 + 16 + 4 + 2 + 1 = (55)_{10}$

3. 八进制 (Octal Number System)

八进制数用 0~7 八个数字表示, 基数为 8, 位权是 8 的幂, 计数时为“逢八进一”或“借一当八”。

任意一个八进制数 $(N)_8$ 的按权展开式:

$$(N)_8 = \sum_{i=-m}^n k_i \times 8^i \quad (1-3)$$

4. 十六进制 (Hexadecimal Number System)

十六进制数的基数为 16, 用 0~9, A (10), B (11), C (12), D (13), E (14), F (15) 16 个数字符号表示, 它的运算规律是“逢十六进一”或“借一当十六”。

任意一个十六进制数 $(N)_{16}$ 的按权展开式:

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^n k_i \times 16^i \quad (1-4)$$

八进制数和十六进制数所对应的十进制数, 同样可按权展开再相加求得。

例 1.2 求 $(546)_8$ 和 $(4EA)_{16}$ 对应的十进制数值。

解: $(546)_8 = 5 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 6 \times 8^0$
 $= 320 + 32 + 6 = (358)_{10}$

$(4EA)_{16} = 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 10 \times 16^0$
 $= 1024 + 224 + 10 = (1258)_{10}$

表 1.1 为十进制、二进制、八进制和十六进制的关系表。

表 1.1 几种数制对照表

十 进 制	二 进 制	八 进 制	十 六 进 制
0	0 0 0 0	0	0
1	0 0 0 1	1	1
2	0 0 1 0	2	2
3	0 0 1 1	3	3
4	0 1 0 0	4	4
5	0 1 0 1	5	5
6	0 1 1 0	6	6
7	0 1 1 1	7	7
8	1 0 0 0	10	8
9	1 0 0 1	11	9
10	1 0 1 0	12	A
11	1 0 1 1	13	B
12	1 1 0 0	14	C
13	1 1 0 1	15	D
14	1 1 1 0	16	E
15	1 1 1 1	17	F

1.2.2 不同数制之间的转换

在数字电路和计算机中,各种数据处理和运算均采用二进制(八进制和十六进制仍属于二进制系列,主要用来压缩二进制的书写长度),而人们熟悉的是十进制,下面给出不同数制之间的转换方法。

1. 其他进制数转换成十进制数

将一个二进制数、八进制数或十六进制数转换成十进制数的方法很简单,只要写出该进制的按权展开式,然后相加,就可以得到等值的十进制数。

2. 十进制数转换成二进制数

十进制数转换为二进制数时,可以按整数部分和小数部分分别进行转换,最后将结果合并为目的数。

(1) 整数部分的转换

十进制整数转换成二进制整数采用“除2取余”法。步骤是用2去除十进制整数,得出的余数是二进制数的最低位(LSB),再用2去除,得出的余数是二进制数的次低位,重复进行上述过程,直到商是0为止,最后相除的余数即为二进制数的最高位(MSB)。

例 1.3 将十进制数 $(53)_{10}$ 转换成二进制数。

解:

2	53		
2	26	1	↑ 低位 ↓ 高位
2	13	0	
2	6	1	
2	3	0	
2	1	1	
	0	1	

$(53)_{10} = (110101)_2$

(2) 小数部分的转换

小数部分的转换采用“乘2取整”法。所谓乘2取整法即是用该小数乘2,第1次乘得结果的整数部分为二进制数的最高位,其小数部分再乘2,所得结果的整数部分为二进制数的次高位,依次类推,直至小数部分达到要求的精度为止。

例 1.4 将十进制小数 $(0.8341)_{10}$ 转换成二进制数(取到小数点后4位)。

解:

	0.8341		
×	2		↑ 高位 ↓ 低位
	1.6682	1	
	0.6682		
×	2		
	1.3364	1	
	0.3364		
×	2		
	0.6728	0	
×	2		
	1.3456	1	

$(0.8341)_{10} = (0.1101)_2$

(3) 八进制数、十六进制数与二进制数的互相转换

因为 $2^3=8$,所以对3位二进制数来讲,从000~111共有8种组合状态,可以分别将这8种状态用来表示八进制数0~7。这样,八进制数与二进制数之间的相互转换就很简单了,

每一位八进制数正好相当于3位二进制数。

例 1.5 将八进制数 $(137)_8$ 转换为二进制数。

解: $(137)_8 = (001\ 011\ 111)_2$

例 1.6 将二进制数 $(1110101)_2$ 转换为八进制数。

解: $(1110101)_2 = (001\ 110\ 101)_8 = (165)_8$

同理, $2^4=16$, 4 位二进制数共有 16 种组合状态, 可以分别用来表示十六进制的 16 个数。这样, 每 1 位十六进制数对应于 4 位二进制数。

例 1.7 将十六进制数 $(75E)_{16}$ 转换为二进制数。

解: $(75E)_{16} = (0111\ 0101\ 1110)_2$

例 1.8 将二进制数 $(101011110110)_2$ 转换为十六进制数。

解: $(101011110110)_2 = (1010\ 1111\ 0110)_{16} = (AF6)_{16}$

1.2.3 编码

在二进制数字系统中, 每一位数只能用 0 或 1 表示两个不同的信号。为了能用二进制数表示更多的信号, 把若干个 0 和 1 按一定的规律编成“代码”, 并赋予每个代码以固定的含义, 这就叫做“编码”。

1. 二进制编码

1 位二进制代码可以表示两个信号。两位二进制代码可以表示 4 个信号。依次类推, n 位二进制代码可以表示 2^n 个不同的信号。将一般的信号编成二进制代码称为二进制编码。若要求编码的信息有 N 项, 则所需的二进制代码的位数 n 应满足 $2^n \geq N$ 。

2. 二—十进制编码

在数字电路中, 各种数据要转换为二进制代码才能进行处理, 而人们习惯于使用十进制数, 输入、输出仍采用十进制数, 这样就产生了用 4 位二进制数表示 1 位十进制数的计数方法, 这种用于表示十进制数的二进制代码称为二—十进制代码 (Binary Coded Decimal), 简称为 BCD 码。它具有二进制数的形式以满足数字系统的要求, 又具有十进制数的特点 (只有十种数码状态有效)。在某些情况下, 计算机也可以对这种形式的数直接进行运算。常见的 BCD 码有以下几种。

(1) 8421 码

8421 码是 BCD 码中使用最多的一种编码, 是一种有权码, 其各位的权分别是 (从最高有效位开始至最低有效位) 8、4、2、1。如果把每一个代码看成一个 4 位的二进制数, 这个代码的数值恰好等于它所代表的十进制数的大小。

例 1.9 $(563.97)_{10} = (0101\ 0110\ 0011.1001\ 0111)_{8421}$

$(01101001.01011000)_{8421} = (69.58)_{10}$

注意: 8421 码中不可能出现 1010~1111 六种编码。

(2) 2421 码

2421 码也是一种有权码, 该码自高位至低位的权分别是 2、4、2、1, 也是用 4 位二进制代码表示 1 位十进制数。2421 码的位权展开式为:

$$a_4 a_3 a_2 a_1 = 2 \times a_4 + 4 \times a_3 + 2 \times a_2 + 1 \times a_1$$

从表 1.2 中不难看出, 在 2421 码中, 十进制数 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 对应位码的一个为 0 时, 另一个就为 1, 即互为反码。

表 1.2

几种常见的 BCD 码

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

(3) 余 3 码

余 3 码也用 4 位二进制数代表 1 位十进制数, 由于它是在 8421 码上加 0011 得到的, 所以这种编码叫做余 3 码。它是一种无权码 (每一位无固定权值)。这种码对应的十进制数 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 也是互补的。

(4) 格雷码

格雷码是一种无权码, 特点是任意两个相邻的码之间只有一位数不同。表 1.3 给出了 4 位格雷码的编码情况, 从表中可以看出最小数 0 与最大数 15 之间也有一位数不一样, 可将这两个数也看做是相邻的, 因此它是一种循环码, 故格雷码通常又称为循环码。

表 1.3

格雷码的编码规则

十进制数	二进制数	格雷码	十进制数	二进制数	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

1.3 逻辑代数及逻辑函数的化简

1.3.1 逻辑代数、逻辑变量和逻辑函数

1. 逻辑代数

逻辑是指事物的前因与后果之间所遵循的规律。这种因果规律也叫逻辑关系——由一定

的条件得到一定的结果。

当用逻辑代数来描述时,条件就是自变量,结果就是因变量。当这种因果关系用逻辑电路来表示时,条件代表着电路的输入信号,逻辑结果代表着输出信号。

逻辑代数又称为布尔代数,是英国数学家乔治·布尔(George Boole)在1847年首先提出的。逻辑代数是研究逻辑函数(因变量)与逻辑变量(自变量)之间规律性的一门应用数学,是分析和设计逻辑电路的数学工具。

2. 逻辑变量

逻辑代数虽然和普通代数一样,也用字母 $A, B, C, \dots$ 来表示变量,但不同的是这些变量的取值范围只有0和1两个值,且0和1并不代表数量的大小,而是作为一种“符号”,表示两种对立的逻辑状态。例如,电位的“高”与“低”,脉冲的“有”与“无”,开关的“合”与“开”,事物的“真”与“假”等,分别称为“逻辑0”和“逻辑1”。这两种对立的逻辑状态除了用“0”和“1”来表示之外,还可以用 A 和 $\bar{A}$ 、 B 和 $\bar{B}$ 、 C 和 $\bar{C}$ ……来表示。其中, $A, B, C, \dots$ 称为“原变量”, $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \dots$ 称为“反变量”。此外,逻辑代数的运算也不同于普通代数,它只有“与”、“或”和“非”3种基本运算,即“逻辑乘”、“逻辑加”和“逻辑非”。

3. 逻辑函数

普通代数中的函数就是随着自变量变化而变化的因变量。同样,逻辑函数是逻辑代数中的因变量。

逻辑函数的定义:如果输入逻辑变量 $A, B, C, \dots$ 的取值确定以后,输出逻辑函数 F 的值也惟一地确定了,于是就称 F 是 $A, B, C, \dots$ 的逻辑函数,写作

$$F = f(A, B, C, \dots) \quad (1-5)$$

在数字电路中,输入信号是“条件”,输出信号是“结果”,因此输入、输出之间存在一定的因果关系,称为逻辑关系。它可以用逻辑表达式、图形和真值表来描述。

1.3.2 逻辑代数中的3种基本运算

逻辑代数有3种基本运算:与运算、或运算和非运算,对应的门电路为与门、或门和非门。

1. 与运算

只有当决定事物结果的所有条件全部具备时,结果才会发生,这种逻辑关系称为与逻辑关系。与逻辑模型电路如图1.1所示, A, B 是两个串联的开关, F 是灯,用开关控制灯亮和灭的关系如表1.4所示。从表1.4中可知,只有当两个开关全都接通时,灯才会亮。因此它们满足与逻辑关系。

如果用二值量中的1来表示灯亮和开关闭合,用0表示灯灭和开关断开,则可得到如表1.5所示的与逻辑真值表。

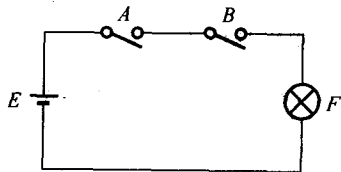


图 1.1 与逻辑电路图

表1.5是将输入逻辑变量各种取值的组合和相应的函数值排列而成的真值表。它的输入部分有 $N=2^n$ 项组合,其中, n 是输入变量的个数,即两个开关有 2^2 个组合,3个开关有 2^3 个组合。