

高等职业教育

电子信息类专业 规划教材

ELECTRONIC ENGINEERING

数字电子技术 及其应用

徐新艳 主 编
李厥瑾 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书从数字电子技术在工程实践中的应用出发,着重讲述了数字电路的基本原理及应用,内容包括:数字电子技术基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器与可编程器件、脉冲电路、数/模转换器与模/数转换器等。

本书按照重视实践、面向应用、易于理解的原则,从数字电路的基本概念入手,结合由小到大、由简到繁的框图式电路图,以通俗的语言、简明的叙述,由浅入深地引导读者逐步学习数字电路的基本原理、特性和功能,并通过大量的应用实例及项目训练,使读者掌握数字电路的工程应用方法。

本书可作为高职高专院校电子信息类、自动化类等专业的教材,也可供工程技术人员参考,还可作为培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术及其应用/徐新艳主编. —北京:中国电力出版社, 2010

高等职业教育电子信息类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9182 - 3

I. 数… II. 徐… 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 (2009) 第 124763 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 2 月第一版 2010 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.5 印张 347 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.20 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

数字电子技术是一门应用性较强的专业基础课程，主要任务是在学生理解数字电路基本原理、特性和功能的基础上，重点培养其数字电路的工程应用能力。本书在编写过程中，充分考虑课程特点及高等职业教育的教学要求，力求做到内容通俗易懂，同时加强对学生实践能力和技能的培养，主要体现在：

(1) 突出知识的应用性。在基础知识方面，根据高职高专教育对学生的要求，适当降低理论上的难度和深度，对较深层的知识只做定性解释，重点突出知识的应用，特别是所举实例多与日常生活结合紧密，增强了内容的实用性、趣味性。

(2) 突出对能力的培养。书中有大量“阅读”、“应用举例”等内容，这些内容多是对基础知识的扩充。鼓励学生自学这部分内容，锻炼学生自己获取知识、拓展知识的能力。

书中的实验与技能训练项目分为3类：基本项目、提高项目和自创性项目。基本项目用于巩固基本知识，表现为一般的验证性实验；提高项目是对基本知识的扩充，帮助学生学会举一反三、触类旁通，以培养学生的工程应用能力；自创性项目采用启发和探究的形式引导学生进行知识和技能的拓展，培养其创造能力，提高其学习兴趣，使其在独立解决问题的过程中树立创新意识、锻炼实践能力。

每节后均有思考与练习，便于学生有的放矢地复习和巩固学习内容；每章后均有目标检测题，用于对学生所掌握知识和技能进行全面检测。

本课程参考教学时数为90学时。在教学中，可以根据需要调整第6、第7、第8章的章次顺序，不影响学习的系统性。

本书由徐新艳主编，李厥瑾副主编，王振华和闫云祥参编。李厥瑾编写第1章～第4章，王振华编写第6章，闫云祥编写实验与技能训练，徐新艳编写其余部分并对全书统稿。全书由朱琼主审。

限于作者水平，书中难免存在缺点和不足，恳请广大读者不吝赐教，作者电子邮箱：xuxinyan@btamail.net.cn。

编者



目 录

前言

第 1 章 数字电子技术基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字信号与数字电路	1
1.1.2 数字系统与数字技术	2
1.2 数制及不同进制数之间的转换	3
1.2.1 数制	3
1.2.2 数制的转换	4
1.3 码制	6
1.4 算术运算与逻辑运算	7
1.5 逻辑代数	8
1.5.1 逻辑代数与逻辑变量	8
1.5.2 逻辑关系	8
1.5.3 逻辑函数及其表示方法	11
1.5.4 逻辑代数的基本定律与规则	12
1.6 逻辑函数化简	15
1.6.1 代数化简法	15
1.6.2 卡诺图化简法	16
1.6.3 具有约束项的逻辑函数及其化简	20
本章小结	23
目标检测	24
第 2 章 门电路	28
2.1 分立元件门电路	28
2.1.1 二极管门电路	28
2.1.2 三极管门电路	30
2.2 集成 TTL 门电路	32
2.2.1 与非门	32
2.2.2 其他功能的门电路	40
2.2.3 门电路的改进	45
2.2.4 TTL 门使用注意事项	45
2.3 集成 CMOS 门电路	47

2.3.1 MOS 管特性	48
2.3.2 CMOS 非门	48
2.3.3 其他功能的 CMOS 门电路	48
2.3.4 CMOS 门使用注意事项	50
2.4 接口电路	53
2.4.1 接口电路的作用	53
2.4.2 常用的接口电路	54
本章小结	57
实验与技能训练	57
目标检测	62
第3章 组合逻辑电路	65
3.1 组合逻辑电路分析与设计	65
3.1.1 组合逻辑电路的分析	65
3.1.2 组合逻辑电路的设计	66
3.2 常用的组合逻辑电路	68
3.2.1 加法器	68
3.2.2 编码器和优先编码器	69
3.2.3 译码器	73
3.2.4 数值比较器	80
3.2.5 数据选择器与分配器	82
3.2.6 算术逻辑单元	85
3.3 组合逻辑电路的竞争与冒险	88
3.3.1 竞争与冒险	89
3.3.2 冒险的判断	90
3.3.3 消除冒险的方法	90
本章小结	91
实验与技能训练	92
目标检测	94
第4章 触发器	97
4.1 基本RS触发器	97
4.1.1 逻辑功能分析	97
4.1.2 逻辑功能描述	98
4.2 同步触发器	100
4.2.1 同步 RS 触发器	100
4.2.2 同步 D 触发器	101
4.2.3 电平触发方式的空翻现象	102
4.3 主从触发器	103
4.3.1 主从 RS 触发器	103
4.3.2 主从 JK 触发器	105

4.4 边沿触发器	107
4.5 集成触发器	108
本章小结	110
实验与技能训练	112
目标检测	113
第5章 时序逻辑电路	115
5.1 计数器	116
5.1.1 同步计数器	116
5.1.2 异步计数器	122
5.1.3 集成计数器构成 N 进制计数器	124
5.1.4 计数器的设计与分析	126
5.2 寄存器	131
5.2.1 数码寄存器	131
5.2.2 移位寄存器	133
本章小结	137
实验与技能训练	137
目标检测	141
第6章 半导体存储器与可编程器件	145
6.1 半导体存储器	145
6.1.1 RAM	145
6.1.2 ROM	152
6.2 可编程逻辑器件	157
6.2.1 PLD 一般组成与电路表示法	158
6.2.2 常用 PLD 简介	158
本章小结	167
实验与技能训练	167
目标检测	169
第7章 脉冲电路	172
7.1 RC 电路	173
7.1.1 微分电路	173
7.1.2 积分电路	174
7.1.3 脉冲分压器	174
7.2 施密特触发器	177
7.2.1 集成门施密特触发器	177
7.2.2 集成施密特触发器	178
7.3 单稳态触发器	180
7.3.1 集成门单稳态触发器	180
7.3.2 集成单稳态触发器	182
7.4 多谐振荡器	185

7.4.1 基本多谐振荡器	185
7.4.2 简易多谐振荡器	186
7.4.3 晶体振荡器	187
7.5 555 定时器	188
7.5.1 定时器电路构成及功能	188
7.5.2 用定时器构成脉冲电路	189
本章小结.....	192
实验与技能训练.....	193
目标检测.....	195
第 8 章 数/模转换器与模/数转换器	198
8.1 DAC	198
8.1.1 D/A 转换基本原理	198
8.1.2 常用 DAC	199
8.1.3 DAC 主要参数	203
8.2 ADC	206
8.2.1 A/D 转换基本原理	206
8.2.2 常用 ADC	208
8.2.3 ADC 主要参数	211
8.2.4 典型集成 ADC 简介	213
本章小结.....	219
实验与技能训练.....	219
目标检测.....	220
参考文献	222



第 1 章

数字电子技术基础

近年来,数字技术已成为电子技术的发展潮流,如数字手机、数字电视、DVD、MP4、电子阅读器等,而基于数字技术的通信网络更是给人类生活、学习和工作方式带来了巨大变化,如网络教育、网络办公、网上资讯、网上购物、网上娱乐等,人们正时时刻刻地感受着数字技术带来的便利、快捷……

数字技术的核心是数字电路。本书从数字电路的基础知识开始,引领读者深入学习数字电路的基本原理及应用,为掌握数字技术奠定基础。

本章主要介绍数字电子技术的基础知识。首先介绍数字信号、数字电路等基本概念,然后介绍数字系统中数字及代码的表示方法,最后介绍分析和设计数字系统的数学工具——逻辑代数。

学习目标

- (1) 了解数字信号的特点,掌握数字信号的表示方法及数字电路的基本概念。
- (2) 熟知二、十、十六进制数的表示方法,会进行数制间的转换。
- (3) 熟知 8421BCD 码,会进行 8421BCD 码与十进制数的相互转换;了解其他编码方式(循环码等)。
- (4) 掌握基本逻辑关系及其表示方法、逻辑代数的基本运算和基本定律。
- (5) 理解不同类型逻辑表达式的相互转换和最简与或表达式。
- (6) 会用公式法化简逻辑函数表达式为最简与或表达式,会用卡诺图化简 4 变量及 4 变量以下逻辑函数表达式为最简与或表达式。
- (7) 理解约束项和约束条件,会用卡诺图化简有约束条件的逻辑函数。

1.1 概 述

1.1.1 数字信号与数字电路

在自然界中,有许多物理量具有连续变化的特点,例如,温度、压力和距离等,这类连续变化的物理量称为模拟量;还有一类物理量,它们在时间上和数值上的变化都是离散的,或者说不连续的,例如,学生成绩的记录、工厂产品的统计、电路开关的状态等,这类物理量的变化可以用不同的数字反映,所以称之为数字量。

在工程中,为了传输、处理各类物理量,常把它们转换成与之成比例的电压或电流信号。表示数字量的电信号被称为数字信号。

数字信号的最常见形式是矩形波序列,即可以用数字 0 和 1 表示的序列,如图 1-1 所

示。通常规定：0 表示矩形波低电平 U_L ；1 表示矩形波高电平 U_H 。当然，也可以反过来规定。

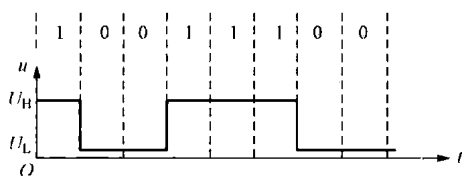


图 1-1 用矩形波表示
数字信号 10011100

处理数字信号的电路称为数字电子线路，简称数字电路。数字电路重点考虑的是电路输出信号状态（低电平或高电平，即 0 或 1）与输入信号状态（低电平或高电平，即 0 或 1）之间的对应关系，这种对应关系也称为逻辑关系。分析数字电路的方法是逻辑分析法，所用工具是逻辑代数，所以，有时又将数字电路称为逻辑电路，电路功能又称为逻辑功能。

由于数字电路只要能区分高、低电平即可，因此数字电路对元器件的精度要求不高，易于电路集成，并且抗干扰能力强，保真度高，所以，数字电路在电子计算机、通信、自动控制、智能化仪器仪表及家用电器等技术领域得到了广泛的应用。

目前，数字电路几乎都是数字集成电路。集成电路（Integration Circuit, IC）是指将晶体管、电阻、电容及连接导线等集中制作在一块半导体基片（亦称芯片）上并加以封装而构成的具有一定功能的电路。通常情况下，单块芯片上集成元器件数量的多少称为集成度，据此把集成电路分为小规模、中规模、大规模、超大规模集成电路。小规模集成电路（Small Scale Integration Circuit, SSIC）包含 10~100 个元器件，如集成逻辑门和集成触发器；中规模集成电路（Medium Scale Integration Circuit, MSIC）包含 100~1000 个元器件，如集成计数器、寄存器和译码器等；大规模集成电路（Large Scale Integration Circuit, LSIC）包含 1000~10 000 个元器件，如存储器和某些设备的控制器等；超大规模集成电路（Very Large Scale Integration Circuit, VLSIC）包含 10 000 个以上元器件，如单片微型计算机等。

1.1.2 数字系统与数字技术

数字系统是一个能对数字信号进行处理、传输和存储的实体，它由实现各种功能的数字电路相互连接而成，例如，数字计算机就是一种最具代表性的数字系统。

数字电子技术简称数字技术，它是关于数字信号的产生、整形、编码、解码、计算（包括算术运算和逻辑运算、判断）、存储和传输的技术。

必须说明的是，数字技术发展很快，各种功能的数字系统随着新技术的发展在不断变化，类型层出不穷。本课程内容仅仅是数字电子技术的基础，有了一定的基础，对新器件、新型电路、新技术也就能很快地理解、掌握和使用。



思考与练习

1. 什么是数字信号？数字信号具有哪些特点？
2. 什么是模拟信号？模拟信号具有哪些特点？
3. 画出数字信号 01110110010010 的波形图。
4. 数字电路输入与输出信号之间的对应关系称为什么？
5. 试总结数字电路的特点，并分析数字电路为什么具有上述特点。
6. 何为数字系统？何为数字技术？

1.2 数制及不同进制数之间的转换

1.2.1 数制

数制是进位计数制的简称。当用数字表示一个量时,只用一位数在绝大多数情况下是不够的,必须使用多位数。而多位数从低位到高位按某种进位规则实现计数,这就是进位计数制。

日常生活中人们常用十进制,而数字系统中是用二进制,为了分析和书写方便,有时也用十六进制。

1. 十进制

十进制 (Decimal System, DEC) 采用 0, 1, …, 9 共 10 个数码计数。计数数码的个数称为基数,或称为模,因此,十进制基数是 10。超过 9 的数用多位数表示,进位规则是“逢十进一”,故称为十进制。

任意一个 k 位整数、 m 位小数的十进制数 N , 都可写成:

$$\begin{aligned} N_{10} &= d_{k-1}d_{k-2}\cdots d_1d_0 \cdot d_{-1}d_{-2}\cdots d_{-m} \\ &= d_{k-1} \times 10^{k-1} + d_{k-2} \times 10^{k-2} + \cdots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 + d_{-1} \times 10^{-1} \\ &\quad + d_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + d_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{k-1} d_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中, i 表示位; d_i 表示第 i 位的系数, 是 0~9 中任意一个数码; 10^i 称为第 i 位的权, 表示 d_i 所代表的数值大小。例如, 将 7176 按权展开为 $7 \times 10^3 + 1 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 6 \times 10^0$, 其中有两个数码是 7, 但前一个 7 的权是 10^3 , 表示 7000; 后一个 7 的权是 10^1 , 表示 70。可见, d_i 实际所表示数值的大小为 $d_i \times 10^i$, 习惯上称 $d_i \times 10^i$ 为加权系数; 下标 10 表示 N 是十进制数, 有时下标用 D 表示。

2. 二进制

二进制 (Binary System, BIN) 用 0 和 1 两个数码, 基数是 2, 进位规则是“逢二进一”。任意一个二进制数可表示为

$$\begin{aligned} N_2 &= d_{k-1}d_{k-2}\cdots d_1d_0 \cdot d_{-1}d_{-2}\cdots d_{-m} \\ &= d_{k-1} \times 2^{k-1} + d_{k-2} \times 2^{k-2} + \cdots + d_1 \times 2^1 + d_0 \times 2^0 + d_{-1} \times 2^{-1} \\ &\quad + d_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + d_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{k-1} d_i \times 2^i \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中, d_i 表示第 i 位的系数, d_i 是 0 和 1 两个数码中的任意一个; 2^i 是第 i 位的权, 下标 2 也可用 B 代替。

3. 十六进制

十六进制 (Hexadecimal System, HEX) 有 0, 1, …, 9, A, …, F 共 16 个数码, 基数是 16, 进位规则“逢十六进一”。任意一个十六进制数 N 按权展开可写成:

$$\begin{aligned} N_{16} &= d_{k-1} \times 16^{k-1} + d_{k-2} \times 16^{k-2} + \cdots + d_1 \times 16^1 + d_0 \times 16^0 + d_{-1} \times 16^{-1} \\ &\quad + d_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + d_{-m} \times 16^{-m} = \sum_{i=-m}^{k-1} d_i \times 16^i \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中, d_i 是 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F 中任意一个数码, 下标 16 也可用 H 表示。

表 1-1 列出若干个与十进制数相对应的二进制、十六进制和八进制数。

表 1-1 二、八、十、十六进制数对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	0	0	0	14	1110	16	E
1	1	1	1	15	1111	17	F
2	10	2	2	16	10000	20	10
3	11	3	3	17	10001	21	11
4	100	4	4	18	10010	22	12
5	101	5	5	32	100000	40	20
6	110	6	6	64	1000000		
7	111	7	7	100	1100100	144	64
8	1000	10	8	128	10000000		
9	1001	11	9	256	100000000		
10	1010	12	A	512	1000000000		
11	1011	13	B	1000	1111101000	1750	3E8
12	1100	14	C	1024	10000000000		
13	1101	15	D	2048	100000000000	4000	800

1.2.2 数制的转换

1. 十进制与其他进制数的转换

(1) 非十进制数转换十进制数。非十进制数转换为十进制数时, 将非十进制数按权展开求和即得相应十进制数。

例 1-1 将 1010.01_2 , $7A.2C_{16}$ 转换为十进制数。

解 $1010.01_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 10.25_{10}$

$$7A.2C_{16} = 7 \times 16^1 + A \times 16^0 + 2 \times 16^{-1} + C \times 16^{-2}$$

$$= 7 \times 16^1 + 10 \times 16^0 + 2 \times 16^{-1} + 12 \times 16^{-2} = 122.171\ 875_{10}$$

(2) 十进制数转换非十进制数。十进制数转换为非十进制数时, 需将整数部分与小数部分分别转换, 合并两部分的转换结果即为所求数。

整数转换采用“除基取余、逆序排列”法, 即用十进制数逐次去除所求数基数并依次记下余数, 直到商为 0 止, 首次所得余数为所求数最低位, 末次所得余数为所求数最高位。

例如, 将 11_{10} 转换成二进制数。所求数基数是 2, 所以

2	11	余数	最低位	
2	5	 1		
2	2	 1		
2	1	 0		
2	0	 1		
			↑	
			最高位	$11_{10} = 1011_2$

小数转换采用“乘基取整、顺序排列”法, 即将十进制小数乘所求数基数, 首次乘

整数为所求数小数最高位，再用小数部分继续乘所求数基数，所得乘积整数为次高位，依次进行，直至满足转换精度要求为止。如果乘基取整后的积最终能为0，则可以精确转换，但是有一部分小数在乘基过程中，取整后的积永远也得不到0，此时只能根据转换精度要求，取有限位数后截断。

例如，将 0.223_{10} 转换成二进制数（要求精确到小数点后第4位）。

0.223	整数	
× 2	0	
0.446		
× 2	0	
0.892		
× 2	1	
1.784		
0.784		
× 2	1	
1.568		
0.568		
× 2	1 (按“0舍1入”处理)	
1.136		

最高位

最低位

↓

$0.223_{10} \approx 0.0100_2$

例 1-2 将 $2591.781\ 25_{10}$ 转换成十六进制数。

解 所求数是十六进制数，基数为16，因此

16 2591	0.781 25	
16 161 15 (F)	× 16	
16 10 1	12.500 00	12 (C)
0 10 (A)	0.5	
	× 16	
	8.0	 8

所以， $2591.781\ 25_{10} = A1F.C8_{16}$

2. 二进制与十六进制数的转换

二进制数转换成十六进制数采用“四位一并”的方法，即从待转换数的小数点开始，分别向左、向右将二进制数按每4位1组分组，不足4位的补0，然后按每组对应1位，写出每一组等值的十六进制数。

例 1-3 将二进制数 1111011110.101101 转换成十六进制数。

解 11 1101 1110. 1011 01=0011 1101 1110. 1011 0100

↓	↓	↓	↓	↓
3	D	E	B	4

所以， $1111011110.101101_2 = 3DE.B4_{16}$

十六进制数转换为二进制数采用“一分为四”的方法，即将每位十六进制数用4位二进制数代替即可。

例 1-4 将十六进制数 $67A.FC$ 转换成二进制数。

解 6 7 A . F C

↓	↓	↓	↓	↓
0110	0111	1010	1111	1100

所以, $67A.FC_{16} = 11001111010.111111_2$ 。



思考与练习

1. 何为数制? 除十进制外, 日常生活中还常使用哪几种不同的数制?
 2. 八进制数的模是多少? 采用哪几个数码计数? 进位规则是什么? 试写出任意一个 k 位整数、 m 位小数的八进制数 N 。用下标 8 或字母 O 表示八进制 (Octal System, OCT)。
 3. 71.76_{10} 中, 高位数码 7 的权与加权系数分别是多少? 低位数码 7 的权与加权系数分别是多少?
 4. 试总结二进制数与八进制数相互转换的方法。
 5. 完成以下转换。(提示: 3 位二进制数对应 1 位八进制数。)
- (1) $376.125_{10} = ()_2 = ()_8 = ()_{16}$
 - (2) $111.1010111_2 = ()_8 = ()_{16}$
 - (3) $1000000000.101_B = ()_D$
 - (4) $550.75_O = ()_D$
 - (5) $7AF.D_H = ()_D$
 - (6) $207.5_O = ()_H$ (提示: 转换步骤为八进制 $\rightarrow$ 二进制 $\rightarrow$ 十六进制。)

1.3 码 制

数码不仅可以表示数量的大小, 而且还可以表示不同的事物。在后一种情况下, 这些数码没有数量的含义, 而是表示不同事物的代号, 这些数码称为代码, 例如 201 教室、学号 1026, 等等。

为了便于记忆和处理, 在编制代码时总要遵循一定的规则, 这些规则就是码制。

数字系统中经常使用二-十进制代码, 也称 BCD (Binary Coded Decimal) 码, 它用 4 位二进制数码表示 1 位十进制数。由于 4 位二进制数码可以表示 16 个数 ($2^4 = 16$), 用来表示十进制数时有 6 个数未用, 因而就有多种 BCD 码, 其中较常用的是 8421 码。8421 码选用 4 位二进制数的前 10 个数 0000~1001, 而未用 1010~1111 等 6 个数, 它是有权码, 每个代码从左到右的权值分别是 8、4、2、1, 如表 1-2 所示, 其加权系数之和就是所表示的十进制数码。

表 1-2

常用 BCD 码

十进制数 \ 编码种类	8421 码	2421 码	余 3 码	余 3 循环码	BCD 格雷码
0	0000	0000	0011	0010	0000
1	0001	0001	0100	0110	0001
2	0010	0010	0101	0111	0011
3	0011	0011	0110	0101	0010
4	0100	0100	0111	0100	0110
5	0101	0101	1000	1100	0111

续表

编码种类 十进制数	8421 码	2421 码	余 3 码	余 3 循环码	BCD 格雷码
6	0110	0110	1001	1101	0101
7	0111	0111	1010	1111	0100
8	1000	1110	1011	1110	1100
9	1001	1111	1100	1010	1000
10	00010000	00010000	01000011	01100010	00010000
权值或特点	有权码, 权值 从左至右为 8、 4、2、1	有权码, 权值 从左至右为 2、 4、2、1	1. 无权码 2. 由 8421 码 加 3 (即 0011_2) 而得	1. 无权码 2. 相邻码仅 1 位不同	1. 无权码 2. 循环码, 即 相邻码仅 1 位 不同

8421 码和十进制数之间的转换是直接按位转换, 例如,

$$12.8_{10} = (0001 \ 0010. \ 1000)_{8421} = 10010.1_{8421}$$

$$11011000010000_{8421} = (0011, 0110, 0001, 0000)_{8421} = 3610_{10}$$

常用的 BCD 码还有 2421 码、余 3 码、余 3 循环码、BCD 格雷码等, 表 1-2 中同时列出了这几种 BCD 码。

此外, 国际上还有一些专门用来处理字母、数字和字符的二进制代码, 如 ISO (International Organization for Standardization) 码、ASCII (American Standard Code for Information Interchange) 码等, 常用的汉字编码有 GB2312、GBK 和中国台湾地区采用的 BIG5 码。有兴趣的读者可查阅相关的书籍。



思考与练习

1. 什么是编码? 什么是码制?
2. 7 位二进制代码可以表示多少个数码? 8 位二进制代码可以表示多少个数码?
3. 将十进制数转换成 8421BCD 码的结果和用二进制数表示的结果是否相同?
4. 已知 5421BCD 码是有权码, 权值从左至右依次为 5、4、2、1, 试写出十进制数 0~9 对应的 5421 码。
5. 请问循环码有什么特点?
6. 完成以下转换。
 - (1) $256.49_{10} = (\quad)_{8421} = (\quad)_{2421} = (\quad)_{\text{余3循环}}$
 - (2) $101111000.001001_{8421} = (\quad)_{10}$
 - (3) $1111001.01011001011_{8421} = (\quad)_2$ (提示: 转换步骤为 BCD→十进制→二进制。)
 - (4) $11000_2 = (\quad)_{8421}$

1.4 算术运算与逻辑运算

当两个二进制数码表示数量大小时, 它们之间可以进行数值运算, 这种运算称为算术运

算。二进制和十进制算术运算的规则基本相同，区别在于二进制数是“逢二进一”，而不是十进制数的“逢十进一”。例如：

加法运算	减法运算	乘法运算	除法运算
$\begin{array}{r} 1001 \\ + 101 \\ \hline 1110 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1000 \\ - 101 \\ \hline 11 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1001 \\ \times 101 \\ \hline 1001 \\ 1001 \\ \hline 101101 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1.1001\cdots \\ 101 \overline{) 1000} \\ \underline{101} \\ 110 \\ \underline{101} \\ 1000 \\ \underline{101} \\ 11 \end{array}$

1 位二进制数码 0 和 1 不仅可以表示数量大小，进行二进制数的数值运算，而且还可以表示两种不同的状态，例如，用 0 和 1 分别表示开关的断开和闭合、电位的低和高等。在数字电路中，两种不同的电路状态通常称为逻辑状态，这时，0 和 1 就不再是通常的二进制数，而是代表两种逻辑状态的符号。当二进制数码 0 和 1 表示逻辑状态时，它们之间可以按照某种逻辑关系进行逻辑运算。

逻辑运算和算术运算有着本质的区别。下一节将重点介绍逻辑运算的各种规律。



思考与练习

1. 什么是算术运算？什么是逻辑运算？在进行逻辑运算时，0 或 1 还代表数量大小吗？
2. 如果两个 BCD 数相加之和超过 9_{10} ，则需要再加上多少来修正？计算 $1111000_{8421\text{BCD}} + 110010_{8421\text{BCD}}$ 。（提示：BCD 码只用了 4 位二进制数的前 10 个数，有 6 个数未用。）
3. 在计算机中，利用二进制数的移位和加法运算能实现二进制数的乘法运算，结合 1001×101 分析其运算过程。
4. 完成以下计算。
 (1) $1010_2 + 1011_2$ (2) $2C_{16} + FE_{16}$ (3) $77_8 + 21_8$ (4) $1001_{8421\text{BCD}} + 1001_{8421\text{BCD}}$

1.5 逻辑代数

1.5.1 逻辑代数与逻辑变量

1849 年，英国数学家乔治·布尔（George Boole）首先提出了描述客观事物逻辑关系的数学方法——逻辑代数，也称布尔代数。因为布尔代数被广泛地用于开关电路和数字电路的分析与设计，所以又把布尔代数称为开关代数。

逻辑代数中的变量称为逻辑变量，和普通代数一样，也用字母表示，但是其取值只有 0、1 两种。这时 0、1 不表示数量大小，只表示对立的两种逻辑状态，如电平高、低，晶体管导通、截止，事件真、假等，因此，通常把 1 称为逻辑 1，0 称为逻辑 0，即所谓二值逻辑。

1.5.2 逻辑关系

1. 基本逻辑关系

基本逻辑关系有三种：逻辑与、逻辑或、逻辑非。

- (1) 逻辑与。首先结合如图 1-2 (a) 所示电路说明“与”逻辑关系。在图 1-2 (a)

中, 只有当开关 A 与 B 全部接通时, 灯 Y 才亮; 否则, 灯 Y 不亮。由此例可得出这样一种因果关系: 当决定一个事件发生的全部条件 (开关 A、B 接通) 同时具备时, 事件才发生 (灯亮), 这种因果关系称为“与”逻辑关系。

若用 1 表示开关接通和灯亮, 0 表示开关断开和灯不亮; 用 A、B 表示条件 (开关状态), Y 表示结果 (灯的状态), 可列表如图 1-2 (b) 所示, 这种用 1、0 表示条件所有组合及对应结果的表格称为逻辑真值表, 简称真值表。

逻辑关系也可以用等式表示, 称为逻辑方程。与逻辑方程为

$$Y = A \cdot B \quad (1-4)$$

式中, 符号“ $\cdot$ ”读作“与”。

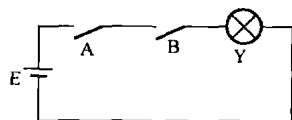
在不会发生混淆时, 式 (1-4) 常简写为 $Y = AB$ 。在某些文献中, 也有用 $\wedge$ 、 $\cap$ 及 $\&$ 等符号来表示逻辑与。

逻辑与又称为逻辑乘, 这是因为它和普通代数乘法运算规律在形式上一致, 即

$$0 \cdot 0 = 0; 0 \cdot 1 = 0; 1 \cdot 0 = 0; 1 \cdot 1 = 1$$

实现逻辑与的电路称为与门。如图 1-2 (c) 所示是“与”逻辑符号, 它既用于表示与逻辑关系, 也用于表示与门电路。

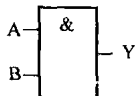
(2) 逻辑或。如图 1-3 (a) 所示电路中, 只要开关 A 或 B 有一个接通或两个都接通, 灯 Y 就亮。由此例可得出另一个因果关系: 在决定一个事件发生的各种条件中 (A、B 接通) 只要有一个或一个以上条件具备, 事件 (灯亮) 就发生, 这种因果关系称为“或”逻辑关系。



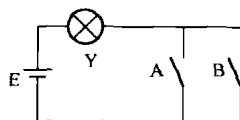
(a)

条件		结果
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

(b)



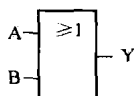
(c)



(a)

条件		结果
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

(b)



(c)

图 1-2 逻辑与

图 1-3 逻辑或

采用前述对开关和灯的状态的规定, 可以列出或逻辑真值表, 如图 1-3 (b) 所示。

或逻辑方程为

$$Y = A + B \quad (1-5)$$

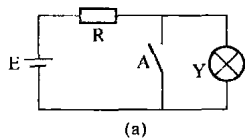
式中, 符号“+”读作“或”。

有些文献中用 V、U 等符号来表示逻辑或。从形式上看, 式 (1-5) 和普通代数中加法

式子是一致的, 所以逻辑或又称逻辑加。运算规律如下:

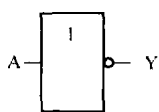
$$0+0=0; 0+1=1; 1+0=1; 1+1=1$$

“或”逻辑符号如图 1-3 (c) 所示。



条件	结果
A	Y
0	1
1	0

(b)



(c)

图 1-4 逻辑非

(3) 逻辑非。当不具备事件发生的条件时, 事件发生, 这种因果关系称为“非”逻辑关系, 可见, 逻辑非就是逻辑反。在图 1-4 (a) 电路中, 开关接通与灯亮之间便是非逻辑关系, 即开关 A 断开时 (条件不具备), 灯 Y 却亮 (结果发生)。如图 1-4 (b) 所示是非逻辑真值表。

非逻辑方程为

$$Y = \bar{A}$$

式中, 符号 “—” 读作 “非”。 $\bar{A}$ 可读作 “A 非” 或 “非 A”, 也可读作 “A 反”。

“非” 逻辑符号如图 1-4 (c) 所示。

逻辑非的运算规律为

$$\bar{0}=1; \bar{1}=0$$

2. 复合逻辑关系

实际应用中的逻辑关系往往比单一的与、或、非复杂得多, 但是都可以用与、或、非的复合来实现。最常见的复合逻辑关系有与非、或非、与或非、异或、异或非 (同或), 逻辑符号如图 1-5 所示, 图中符号上的小圆圈表示非逻辑。

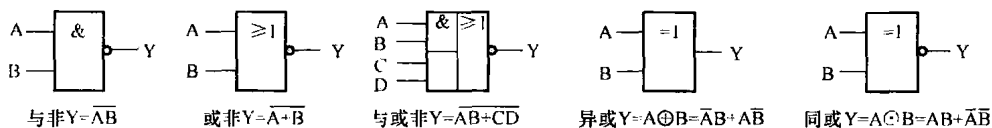


图 1-5 复合逻辑的逻辑符号

如表 1-3 所示是以上各复合逻辑关系的真值表。举例说明, 与非逻辑关系就是先将 A 和 B 相与, 然后再将结果取非后得 Y, 因此, 与非逻辑关系是与逻辑和非逻辑的复合。

表 1-3

复合逻辑的逻辑真值表

与非逻辑		
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

异或逻辑		
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

或非逻辑		
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

异或非 (同或) 逻辑		
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1