高职高专创新教材

电子信息系列

数字电子技术

高职高专创新教材编审委员会编

主 编　赵慧欣

WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/计算机系列高职高专创新教材编审委员会编. —武汉：武汉大学出版社，2011.1

高职高专创新教材

ISBN 978-7-307-08396-7

Ⅰ. 数… Ⅱ. 计… 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(2010)第 257336 号

责任编辑:张秀利

出版发行:**武汉大学出版社** （430072 武昌 珞珈山）

（电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn）

印刷:北京楠萍印刷有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:373 千字

版次:2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-08396-7/TN·41 定价:32.00 元

内 容 简 介

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》指导思想，参考教育部“关于普通高等教育教材建设与改革的意见”精神，结合高职高专“以提高学生就业竞争力为导向，突出技能训练，培养实用型人才”的人才培养目标编写而成的。

本书内容全面，体例新颖，实用性强。本书共分为 9 章，主要内容包括数字电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变化、数/模和模/数转换、存储器和可编程逻辑器件、数字电路的综合训练等。

本书可作为高职院校电子信息类、机电类专业教材使用，也可供工程技术人员参考阅读。

前 言

本书是依据《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》指导思想,参考教育部"关于普通高等教育教材建设与改革的意见"精神,结合高职高专"以提高学生就业竞争力为导向,突出技能训练,培养实用型人才"的人才培养目标,根据电子信息类专业"数字电子技术"课程基本要求编写的。本书可作为高等职业院校"数字电子技术"课程的教材,也可供工程技术人员参考阅读。

"数字电子技术"是高等职业技术教育电子信息类专业技术基础课程。它与工程实践联系紧密,实用性强,在各专业领域的测量、显示、信号处理、控制过程等方面有着极其广泛的应用,是实现各种系统自动化、智能化控制的基础。本书内容针对电子信息类专业高级技术应用型人才岗位所需的知识、能力来编写,注重培养学生熟悉常用集成逻辑器件功能的能力,掌握数字电路的分析、设计方法。学好本课程,不仅可为专业课学习打好基础,而且可直接为培养职业能力服务。

本书的编写特点主要体现在以下两个方面:

(1)采用任务驱动方式编写,实用性强。在本书的编写过程中,注重理论联系实际,淡化公式推导,力求使学生学会元器件和电子电路在实际中的应用。

(2)内容全面,体例新颖,突出教学内容的先进性。为使教材内容适应电子技术的飞速发展,突出集成电路及其应用,对精选的集成电路重点介绍了其电路特点和应用实例;加大了中、大规模集成电路器件的应用的内容比例,使学生对当代电子电路的设计及制作有一定程度的了解。从了解电子技术发展趋势角度出发,简单介绍了可编程逻辑器件。

由于编者水平有限,书中不足和疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编　者

目 录

第 1 章 数字电路基础知识 ………………… 1
任务 1 数字电路概述 ………………………… 1
任务 2 数制与编码 …………………………… 4
任务 3 逻辑函数及其化简 …………………… 12
本章小结 ………………………………………… 35
本章习题 ………………………………………… 36

第 2 章 逻辑门电路 ………………………… 38
任务 1 二极管及三极管的开关特性 ……… 38
任务 2 基本逻辑门电路 …………………… 44
任务 3 TTL 反相器 ………………………… 48
任务 4 其他类型 TTL 门电路 ……………… 57
任务 5 CMOS 门电路 ……………………… 62
任务 6 CMOS 门电路和 TTL 门电路 …… 71
本章小结 ………………………………………… 75
本章习题 ………………………………………… 76

第 3 章 组合逻辑电路 ……………………… 79
任务 1 SSI 组合逻辑电路的分析和设计 … 80
任务 2 编码器 ……………………………… 84
任务 3 译码器 ……………………………… 91
任务 4 数据选择器 ………………………… 101
任务 5 加法器 ……………………………… 107
任务 6 数值比较器 ………………………… 110
本章小结 ………………………………………… 113
本章习题 ………………………………………… 113

第 4 章 触发器 ……………………………… 117
任务 1 基本 RS 触发器 …………………… 117
任务 2 同步触发器 ………………………… 120
任务 3 触发器的功能分类及相互转换 … 128
任务 4 集成触发器及其应用 ……………… 133
本章小结 ………………………………………… 138
本章习题 ………………………………………… 139

第 5 章 时序逻辑电路 ……………………… 142
任务 1 时序逻辑电路的分析方法 ……… 143
任务 2 寄存器 ……………………………… 147
任务 3 二进制计数器 ……………………… 155
任务 4 任意进制计数器 …………………… 159
本章小结 ………………………………………… 165
本章习题 ………………………………………… 166

第 6 章 脉冲波形的产生与变化 ………… 168
任务 1 脉冲信号 …………………………… 168
任务 2 多谐振荡器 ………………………… 170
任务 3 单稳态触发器 ……………………… 174
任务 4 施密特触发器 ……………………… 181
任务 5 555 定时器 ………………………… 184
本章小结 ………………………………………… 191
本章习题 ………………………………………… 192

第 7 章 数/模和模/数转换 ……………… 195
任务 1 D/A 转换器 ………………………… 195
任务 2 A/D 转换器 ………………………… 204
本章小结 ………………………………………… 215
本章习题 ………………………………………… 215

第 8 章 存储器和可编程逻辑器件 …… 217
任务 1 存储器 ……………………………… 217
任务 2 可编程逻辑器件 …………………… 232
本章小结 ………………………………………… 239
本章习题 ………………………………………… 240

第 9 章 数字电路的综合训练 …………… 241
任务 1 数字电路系统设计 ………………… 241
任务 2 数字电路的测试及故障诊断 …… 246
本章小结 ………………………………………… 248
本章习题 ………………………………………… 249

附录 ……………………………………………… 250
参考文献 ……………………………………… 262

第 1 章 数字电路基础知识

任务 1 数字电路概述

任务描述： 了解数字电路的基本概念和特点；
理解数字电路中“1”和“0”的含义。

任务分析： 数字电路是以数字量为研究对象的电路，其发展十分迅速，在计算机、数控技术、通信系统、图像处理、数字仪表等方面都得到了越来越广泛的应用。本任务对数字电路的分类及特点进行简单介绍，对数字电路基本概念、电路中“1”和“0”的含义进行详细讲述。

用数字信号完成对数字量进行算术运算和逻辑运算的电路称为数字电路或数字系统。由于它具有逻辑运算和逻辑处理功能，所以又称为数字逻辑电路。现代的数字电路由半导体工艺制成的若干数字集成器件构造而成。逻辑门是数字逻辑电路的基本单元。存储器是用来存储二值数据的数字电路。从整体上看，数字电路可以分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

数字电路的发展与模拟电路一样经历了电子管、半导体分立器件和集成电路等几个时代。但其发展速度比模拟电路更快。从 20 世纪 60 年代开始，数字集成器件以双极型工艺制成了小规模逻辑器件，随后发展到中规模逻辑器件；20 世纪 70 年代末，微处理器的出现，使数字集成电路的性能产生了质的飞跃。

阶段 1 数字电路与模拟电路

电子电路根据其处理的信号不同可以分为模拟电子电路和数字电子电路。

1. 模拟信号(Analog Signal)和模拟电路(Analog Circuit)

在时间上和数值上都是连续变化的信号称为模拟信号，例如音频信号、视频信号、温度信号等。模拟信号波形如图 1-1 所示。

处理模拟信号的电子电路称为模拟电路，例如各类放大器、稳压电路等。

2. 数字信号(Digital Signal)和数字电路(Digital Circuit)

在时间上和数值上都是离散(变化不连续)的信号称为数字信号，例如脉冲方波、计算机和手机中的信号等。数字信号波形如图 1-2 所示。

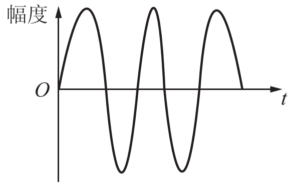

图 1-1 模拟信号波形

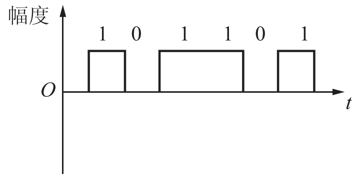

图 1-2 数字信号波形

阶段 2 数字电路的基本概念

数字电路中用数字“0”和“1”来表示信号，这里的“0”和“1”已不是习惯的十进制数中的数字。数字逻辑电路中的“0”和“1”表示两种完全对立的状态。当任何事件的结果以及决定该事件结果的条件，如果只有完全对立的两种可能状态，而不会出现任何其他中间状态时就可以用“0”和“1”来代表该事件结果和条件的状态。数字逻辑电路中的“0”和“1”只是人为事先定义的，代表两种完全对立状态，并非是狭义的数值。

数字信号普遍采用二进制计数形式。二进制只有“0”和“1”两个数，可用电路或元件的两种截然不同的稳定状态方便地表示。逻辑“0”和逻辑“1”反映在数字电路上就是低、高电平。例如，共发射极放大电路三极管饱和导通时，电路输出是低电平，表示“0”状态；电路截止时，输出是高电平，表示“1”状态。

数字电路中用高电平和低电平表示信号的一定电压范围，电平并非是一个固定的电压数值，不同的数字系统中，高电平和低电平的定义范围是不一样的。在正逻辑体系下，高电平表示信号的幅值大于某个给定的电压数值，低电平表示信号的幅值小于某个给定的电压数值。例如在 TTL 电路中，通常规定电压数值大于 2.4V 是高电平，电压数值小于 0.8V 是低电平。负逻辑体系的高低电平定义范围和正逻辑体系相反。

数字电路的主要研究对象是电路的输出与输入之间的逻辑关系，数字电路中的晶体三极管处于开关状态，分析主要采用逻辑代数、逻辑表达式、真值表和波形图等数学工具。在数字电路中不能采用模拟电路的分析方法(例如微变等效电路分析法、图解分析法)进行分析。

阶段 3 数字电路分类

数字电路包括数字脉冲电路和数字逻辑电路。前者研究脉冲的产生、变换和测量；后者对数字信号进行算术运算和逻辑运算。

(1)按功能可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路简称组合电路，它由最基本的逻辑门电路组合而成。组合电路的特点是：输出值只与当时的输入值有关，即输出值唯一的由当时的输入值决定。电路没有记忆功能，输出状态随着输入状态的变化而变化，类似于电阻性电路，如加法器、译码器、编码器、数据选择器等。

时序逻辑电路简称时序电路，由最基本的逻辑门电路加上反馈逻辑回路(输出到输入)或器件组合而成，与组合电路最本质的区别在于时序电路具有记忆功能。时序电路的特点是：输出值不仅取决于当时的输入值，还与电路过去的状态有关。它类似于含储能元件的电感或电容的电路，如触发器、锁存器、计数器、移位寄存器、储存器等。

(2)按电路有无集成元器件来分，可分为分列元件数字电路和集成数字电路。目前分立元件组成的集成电路已经不再使用，本书主要分析研究集成数字电路。

(3)按集成电路的集成度进行分类，可分为小规模(Small Scale Integration，SSI)、中规模(Medium Scale Integration，MSI)、大规模(Large Scale Integration，LSI)和超大规模(Very Large Scale Integration，VLSI)集成数字电路。

(4)按构成电路的半导体器件来分类，可分为双极型数字电路和单极型数字电路。双极型数字集成电路有 DTL、TTL、ECL、IIL、HTL 等；单极型数字集成电路有 NMOS、PMOS、CMOS、HCMOS 等。

阶段 4 数字电路的特点

数字电路与模拟电路相比，主要具有以下优点：

(1)基本单元结构简单，电路成本低，工作可靠性高。允许元件参数有较大的分散性。

(2)抗干扰能力强。数字电路只需要能区分信号两种截然不同的状态，不必精确地测量信号的大小，噪声容限大。数字电路通常是根据脉冲信号的有无、个数、宽度和频率来进行工作，干扰往往只能影响脉冲幅度，所以抗干扰能力强，准确度较高。

(3)通用性强。数字电路能够制造成系列化、标准化的数字部件，并以此构成各种各样的数字系统。

(4)容易实现算术和逻辑运算功能。易于和计算机配合，实现自动化、智能化控制。

(5)数据便于存储、携带和交换。

(6)系统故障容易诊断。

(7)保密性好。在数字电路中信号可以方便地进行加密处理，使信息资源不易被窃取。

知识拓展

数字电路的应用

数字电路已十分广泛地应用于电子通信、自动控制、家用电器、仪器仪表、计算机等各个领域，如手机、电脑、数字视听设备、数码相机等。数字电路的发展标志着电子技术进入了一个新的阶段，当今电子技术的飞速发展以数字化作为主要标志。当然这并不是说数字化可以代替一切，信号的放大、转换和功能的执行等都离不开模拟电路，模拟电路是数字电子技术的基础，两者互为依存、互相促进，缺一不可。

任务 2　数制与编码

任务描述： 掌握二进制数、十进制数、十六进制数和八进制数之间的转换方法。

任务分析： 数字电路中，数值表达经常出现，如电子计时、数字转速表、统计物件数目、表达物理量的大小等。本任务介绍二进制数、十进制数、十六进制数、八进制数的主要特点和各种数制之间的转换方法。

数字电路经常遇到计数问题。人们在日常生活中，习惯于用十进制数，而在数字系统，例如数字计算机中，多采用二进制数，有时也采用八进制数或十六进制数。

数制也称计数制，是指用一组固定的符号和统一的规则来表示数值的方法。一般我们用$(\ \ )_{\text{角标}}$表示不同进制的数。例如：十进制用$(\ \ )_{10}$表示，二进制数用$(\ \ )_2$表示。在微机中，一般在数字的后面，用特定字母表示该数的进制。例如：

B——二进制　　　　D——十进制(D 可省略)

O——八进制　　　　H——十六进制

在进位计数制中有数位、基数和位权三个要素。数位是指数码在一个数中所处的位置。基数是指在某种进位计数制中，每个数位上所能使用的数码的个数。例如二进制数基数是2，每个数位上所能使用的数码为0和1两个数码。在数制中有一个规则，如果是 N 进制数，必须是逢 N 进 1。对于多位数，处在某一位上的“1”所表示的数值的大小称为该位的位权。例如二进制第 2 位的位权为 2，第 3 位的位权为 4。一般情况下，对于 N 进制数，整数部分第 i 位的位权为 N^{i-1}，而小数部分第 j 位的位权为 N^{-j}。

阶段 1　常用的几种进位计数制

1. 十进制数(Decimal number，可用字母 D 表示或省略)

主要特点：

(1)基数是 10。有 10 个不同数码:0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。

(2)进位规则是"逢十进一",超过 9 的数字就必须用多位数来表示。各数码处在不同数位时,所代表的数值是不同的。

例如:

$$1234=1\times10^3+2\times10^2+3\times10^1+4\times10^0$$

式中,10^3、10^2、10^1、10^0 称为十进制数各数位的权或位权,都是 10 的幂。因此,任意一个十进制数都可以表示为各个数位上的数码与其对应的权或位权的乘积之和,称为权展开式,用通式可表示为

$$\begin{aligned}(N)_{10}&=a_{n-1}\times10^{n-1}+a_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots+a_1\times10^1+a_0\times10^0+a_{-1}\times10^{-1}+\\&\quad a_{-2}\times10^{-2}+\cdots+a_{-m}\times10^{-m}\\&=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times10^i\end{aligned}$$

式中,a_i 为 0~9 中的任一数码;10 为进制的基数;10 的 i 次幂为第 i 位的权;m、n 为正整数,n 为整数部分的位数,m 为小数部分的位数。

2. 二进制数(Binary number,可用字母 B 表示)

主要特点:

(1)基数是 2。只有 2 个不同数码:0、1。

(2)进位规则是"逢二进一",超过 1 的数字就必须用多位数来表示。

例如:

$$(1001)_2=1\times2^3+0\times2^2+0\times2^1+1\times2^0$$

式中,2^3、2^2、2^1、2^0 称为二进制数各数位的权或位权,都是 2 的幂。用通式可表示为

$$\begin{aligned}(N)_2&=a_{n-1}\times2^{n-1}+a_{n-2}\times2^{n-2}+\cdots+a_1\times2^1+a_0\times2^0+\\&\quad a_{-1}\times2^{-1}+a_{-2}\times2^{-2}+\cdots+a_{-m}\times2^{-m}\\&=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times2^i\end{aligned}$$

式中,a_i 为 0 或 1 中的任一数码;2 为进制的基数;2 的 i 次幂为第 i 位的权;m、n 为正整数,n 为整数部分的位数,m 为小数部分的位数。

3. 八进制数(Octal number,可用字母 O 表示)

主要特点:

(1)基数是 8。有 8 个不同数码:0、1、2、3、4、5、6、7。

(2)进位规则是"逢八进一",超过 7 的数字就必须用多位数来表示。

例如:

$$(1121)_8=1\times8^3+1\times8^2+2\times8^1+1\times8^0$$

式中,8^3、8^2、8^1、8^0 称为八进制数各数位的权或位权,都是 8 的幂。用通式可表示为

$$\begin{aligned}(N)_8&=a_{n-1}\times8^{n-1}+a_{n-2}\times8^{n-2}+\cdots+a_1\times8^1+a_0\times8^0+\\&\quad a_{-1}\times8^{-1}+a_{-2}\times8^{-2}+\cdots+a_{-m}\times8^{-m}\end{aligned}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i$$

式中，a_i 为 0～7 中的任一数码；8 为进制的基数；8 的 i 次幂为第 i 位的权；m、n 为正整数，n 为整数部分的位数，m 为小数部分的位数。

4. 十六进制数(Hexadecimal number，可用字母 H 表示)

主要特点：

(1)基数是 16。有 16 个不同数码：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。

(2)进位规则是“逢十六进一”，超过 F 的数字就必须用多位数来表示。

例如：

$$(1101)_{16} = 1\times 16^3 + 1\times 16^2 + 0\times 16^1 + 1\times 16^0$$

式中，16^3、16^2、16^1、16^0 称为十六进制数各数位的权或位权，都是 16 的幂。用通式可表示为

$$\begin{aligned}(N)_{16} &= a_{n-1}\times 16^{n-1} + a_{n-2}\times 16^{n-2} + \cdots + a_1\times 16^1 + a_0\times 16^0 + a_{-1}\times 16^{-1} + \\ &\quad a_{-2}\times 16^{-2} + \cdots + a_{-m}\times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i\end{aligned}$$

式中，a_i 为 0～F 中的任一数码；16 为进制的基数；16 的 i 次幂为第 i 位的权；m、n 为正整数，n 为整数部分的位数，m 为小数部分的位数。

十进制数、二进制数、八进制数、十六进制数对照表如表 1-1 所示。

表 1-1　十进制数、二进制数、八进制数、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
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D

续表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
14	1110	16	E
15	1111	17	F

阶段 2　数制转换

用计算机处理十进制数，必须先把它转化成二进制数才能被计算机所接受，同理，计算结果应将二进制数转换成人们习惯的十进制数，这就产生了不同进制数之间的转换问题。

1. 十进制数与二进制数之间的转换

(1)十进制整数转换成二进制整数

把十进制整数转换为二进制整数的方法如下：把被转换的十进制整数反复地除以 2，直到商为 0，所得的余数(从末位读起)就是这个数的二进制表示。简单地说，就是“除 2 取余法”。

例如，将十进制整数 35 转换成二进制整数的方法如下：

	余数	
2⌊35	1	低位 ↑
2⌊17	1	
2⌊8	0	
2⌊4	0	
2⌊2	0	
2⌊1	1	
0		高位

于是，$(35)_{10}=(100011)_2$

掌握十进制整数转换成二进制整数的方法后，十进制整数转换成八进制或十六进制整数就很容易了。十进制整数转换成八进制整数的方法是“除 8 取余法”，十进制整数转换成十六进制整数的方法是“除 16 取余法”。

(2)十进制小数转换成二进制小数

十进制小数转换成二进制小数是将十进制小数连续乘以 2，选取进位整数，把每次所进位的整数，按从上往下的顺序写出，直到满足精度要求为止。简称“乘 2 取整法”。

例如，将十进制小数$(0.687\,5)_{10}$转换成二进制小数的方法如下：

	整数	高位
0.6875		
× 2		
1.375	1	
0.375		
× 2		
0.75	0	
0.75		
× 2		
1.5	1	
0.5		
× 2		
1.0	1	低位

于是，$(0.6875)_{10}=(0.1011)_2$。

概括地说，十进制数转换为二进制数时，对整数部分采用“除 2 取余，逆序排列”法，对小数部分可采用“乘 2 取整，顺序排列”法。

掌握十进制小数转换成二进制小数的方法以后，十进制小数转换成八进制小数或十六进制小数就很容易了。十进制小数转换成八进制小数的方法是“乘 8 取整法”，十进制小数转换成十六进制小数的方法是“乘 16 取整法”。

(3)二进制数转换成十进制数

把二进制数转换为十进制数的方法是，将二进制数按权展开求和即可。

例如，$(1011001.101)_2=128+32+16+2+1+0.5+0.125=(179.625)_{10}$。

1×2^7代表十进制数 128

0×2^6代表十进制数 0

1×2^5代表十进制数 32

1×2^4代表十进制数 16

0×2^3代表十进制数 0

0×2^2代表十进制数 0

1×2^1代表十进制数 2

1×2^0代表十进制数 1

1×2^{-1}代表十进制数 0.5

0×2^{-2}代表十进制数 0

1×2^{-3}代表十进制数 0.125

同理，非十进制数转换成十进制数的方法是，把各个非十进制数按权展开求和即可。

2. 二进制数与八进制数之间的转换

二进制数与八进制数之间的转换十分简捷方便，他们之间的对应关系是，八进制数的每一位对应二进制数的三位。

(1)二进制数转换成八进制数

由于二进制数和八进制数之间存在特殊关系，即 $8^1=2^3$，因此转换方法比较容易，具体

转换方法是，将二进制数从小数点开始，整数部分从右向左 3 位一组，小数部分从左向右 3 位一组，不足三位用 0 补足。

例如，将$(10110101110.11011)_2$ 化为八进制数如下：

于是，$(10110101110.11011)_2=(2656.66)_8$

(2)八进制数转换成二进制数

方法为，以小数点为界，向左或向右每一位“八进制”数用相应的 3 位“二进制”数取代，然后将其连在一起。

例如，将$(6237.431)_8$ 转换为二进制数如下：

$(6237.431)_8=(110010011111.100011001)_2$

3. 二进制数与十六进制数之间的转换

(1)二进制数转换成十六进制数

二进制数的每四位，刚好对应于十六进制数的一位($16^1=2^4$)，其转换方法是，将二进制数从小数点开始，整数部分从右向左 4 位一组，小数部分从左向右 4 位一组，不足四位用 0 补足，每组对应一位十六进制数即可得到十六进制数。

例如，将二进制数$(101001010111.110110101)_2$ 转换为十六进制数。

于是，$(101001010111.110110101)_2=(A57.DA8)_{16}$

例如，将二进制数$(100101101011111)_2$ 转换为十六进制数。

于是，$(100101101011111)_2=(4B5F)_{16}$

(2)十六进制数转换成二进制数

方法为，以小数点为界，向左或向右每一位“十六进”制数用相应的 4 位“二进制”数取代，然后将其连在一起。

例如，将$(3AB.11)_{16}$转换成二进制数。

于是，$(3AB.11)_{16}=(1110101011.00010001)_2$

阶段 3 编码

数码不但可以表示数量的大小，还可以表示不同的事物。数码作为代号表示事物的不同时称其代码。编制代码有一定的规则，这些规则称为码制。编码就是代码的编制过程。

1. BCD 码

人们习惯用十进制数，而数字系统必须用二进制数分析处理，这就产生了二—十进制代码，也称 BCD 码。BCD 码种类较多，有 8421 码、2421 码、5421 码和余 3 码等，其中 8421 码最为常用。下面介绍这几种常见的 BCD 码。

(1)8421 码

8421 码是 BCD 码中使用最多的一种有权码(每位均有固定权值)，其权值由高到低依次为 $8(2^3)$、$4(2^2)$、$2(2^1)$、$1(2^0)$，故称 8421 码。8421 码的特点是，如果将代码看成一个 4 位二进制代码，则它的数值正好等于它所代表的十进制数的大小，1010～1111 等 6 种状态是不用

的，称为禁用码。即假设 8421 码为 $a_3a_2a_1a_0$，则其表示的十进制数为：

$$8a_3+4a_2+2a_1+1a_0$$

例如：将$(45)_{10}$和$(66.5)_{10}$分别用 8421 码表示。

$(45)_{10}=(0100\ 0101)_{8421}$

$(66.5)_{10}=(0110\ 0110.0101)_{8421}$

(2)2421 码

2421 码也是一种有权码，其权值由高到低依次为 2、4、2、1，假设 2421 码为 $a_3a_2a_1a_0$，则其表示的十进制数为：

$$2a_3+4a_2+2a_1+1a_0$$

(3)5421 码

5421 码也是一种有权码，其权值由高到低依次为 5、4、2、1，假设 5421 码为 $a_3a_2a_1a_0$，则其表示的十进制数为：

$$5a_3+4a_2+2a_1+1a_0$$

(4)余 3 码

余 3 码各位没有固定的权值，是一种无权代码。它是对相应的 8421 码加 0011 得到的，因此叫做余 3 码。

(5)格雷(Gray)码

格雷码也叫循环码，它也是一种无权码。格雷码的特点是，任何两个相邻的代码只有一位不同，其他位都相同。

上述几种常用的 BCD 码对照表见表 1-2。

表 1-2　几种常用的 BCD 码对照表

十进制数	8421 码	2421 码	5421 码	余 3 码	格雷码
0	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1011	1000	1000	0111
6	0110	1100	1001	1001	0101
7	0111	1101	1010	1010	0100
8	1000	1110	1011	1011	1100
9	1001	1111	1100	1100	1000

知识拓展

格雷码是一种无权码,此码比较实用。它的特点是任意两组相邻代码之间只有一位不同,其余各位都相同,并且整个二进制码的首尾格雷码之间也只相差一位数码,所以格雷码又是循环码。

格雷码的这个特点使得它在形成和传输代码的过程中引起的误差较小。它在电路每次状态更新时只有一位代码发生变化,而其他码同时改变两位或多位,所以格雷码是一种可靠性代码。

2. 字符码

字符码:专门用来处理数字、字母及各种符号的二进制代码。最常用的是美国标准信息交换码 ASCII(American Standard Code for Information Interchange)码。ASCII 码采用 7 位二进制数码($b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0$),可以表示 $2^7=128$ 个字符。如表 1-3 所示,任何符号或控制功能都由高 3 位 $b_6b_5b_4$ 和低 4 位 $b_3b_2b_1b_0$ 确定。对于所有控制符有 $b_6b_5=00$,而对于其他符号则有 $b_6b_5=10$ 或 $b_6b_5=11$。

表 1-3　美国标准信息交换码(ASCII 码)

$b_6b_5=00$		$b_6b_5=01$		$b_6b_5=10$		$b_6b_5=11$		b_3	b_2	b_1	b_0
$b_4=0$	$b_4=1$	$b_4=0$	$b_4=1$	$b_4=0$	$b_4=1$	$b_4=0$	$b_4=1$				
		间隔	0	@	P	′	p	0	0	0	0
		!	1	A	Q	a	q	0	0	0	1
		″	2	B	R	b	r	0	0	1	0
		♯	3	C	S	c	s	0	0	1	1
		$	4	D	T	d	t	0	1	0	0
		%	5	E	U	e	u	0	1	0	1
		&	6	F	V	f	v	0	1	1	0
		’	7	G	W	g	w	0	1	1	1
		(	8	H	X	h	x	1	0	0	0
		)	9	I	Y	i	y	1	0	0	1
		*	:	J	Z	j	z	1	0	1	0
		+	;	K	[	k	{	1	0	1	1
		,	<	L	\	l	|	1	1	0	0
		-	=	M	]	m	}	1	1	0	1
		.	>	N	ˆ	n	~	1	1	1	0
		/	?	O	—	0	注销	1	1	1	1

知识拓展

逻辑函数的建立及其表示方法

在生产和科学实验中，为了解决某一个实际问题，必须研究其因变量与自变量之间的逻辑关系，从而得出相应的逻辑函数。一般来说，首先应根据提出的实际逻辑命题，确定哪些是逻辑变量，哪些是逻辑函数，定义逻辑“1”和“0”的含义，列出其真值表，最后再根据真值表写出逻辑函数表达式，然后研究它们之间的因果关系。工程实际逻辑问题常常可以用真值表、逻辑函数表达式、逻辑图、卡诺图和波形图五种形式表示，它们之间可以相互转换。下面结合实例说明逻辑函数的建立步骤以及逻辑函数的几种表示方法。

(1)直接分析法

分析具体问题，根据实际问题的逻辑要求，可以直接写出逻辑表达式，现举例说明。

【例 1-15】 双联开关控制电灯电路如图 1-24 所示，定义开关位置在上为 1，开关位置在下为 0，灯亮为 1，灯灭为 0，试写出灯亮的逻辑表达式。

满足灯亮的电路有两条，对应逻辑函数式应该有 2 个或项，当两个开关均在上位置时，灯亮，产生 AB 与项。当两个开关均在下位置时，灯灭，产生 $\overline{A}\cdot\overline{B}$ 与项。所以灯亮的逻辑表达式为

$$F=AB+\overline{A}\,\overline{B}$$

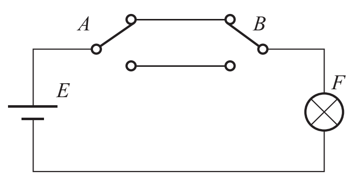

图 1-24　双联开关电路

【例 1-16】 设 A、B、C 这三台设备工作中有两个控制要求：①A 开机，则 B 必须开机；②B 开机，则 C 也必须开机。如不满足要求，则要求报警装置发出报警信号。试写出符合发出报警信号的要求的 F 和 A、B、C 这三台设备工作关系的逻辑函数表达式。

设备开机为 1，不开机为 0；报警装置发出报警信号为 1，不报警为 0。根据题意，分析报警装置发出报警信号有两种情况：①A 开机、B 没有开机，可表达成 $A\overline{B}$；②B 开机、C 没有开机，可表达成 $B\overline{C}$。

所以报警装置发出报警信号的逻辑函数表达式为

$$F=A\overline{B}+B\overline{C}$$

(2)从真值表转换到逻辑表达式

【例 1-17】 已知逻辑函数的真值表如表 1-19 所示，试求其逻辑函数表达式。

解　(1)先写出与或表达项。与项为全部输入变量相与(本例与项对应为 ABC)，其中

或项数目等于真值表中 $F=1$ 的行数(本例共有 5 行、对应 5 个或顶)。

(2)每一个与项和一个 $F=1$ 行对应,如果此行的输入变量为 1,则取其原变量;如果输入变量为 0,则取其反变量(参见表 1-20 中最后一列)。

写出逻辑函数表达式(与或逻辑函数表达式)

$$F=\overline{A}\,\overline{B}C+\overline{A}B\,\overline{C}+\overline{A}BC+A\,\overline{B}C+ABC$$

表 1-19　例 1-17 的真值表

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

表 1-20　路灯控制输出与项

A	B	C	F	
0	0	0	0	
0	0	1	1	$\overline{A}\,\overline{B}C$
0	1	0	1	$\overline{A}B\,\overline{C}$
0	1	1	1	$\overline{A}BC$
1	0	0	0	
1	0	1	1	$A\,\overline{B}C$
1	1	0	0	
1	1	1	1	ABC

本章小结

1.数字电路的工作信号是一种突变的离散信号,数字电路中主要采用二进制数。二进制代码不仅可以表示数值的大小,还可以表示文字和符号。

2.逻辑代数是分析和设计逻辑电路的重要工具。与、或、非是 3 种基本的逻辑运算,常用的复合逻辑运算有与非、或非、与或非、异或和同或。逻辑代数中的基本定律与公式是逻辑代数运算的基础,熟练掌握它们可提高运算速度。

3.逻辑函数有真值表、逻辑代数表达式、卡诺图和逻辑图等多种表示方法。知道其中任何一种形式,都能将它转换为其他形式。

4.逻辑函数的化简有公式化简法和卡诺图化简法,公式化简法无固定的规律可循,技巧性较强,必须在实际练习中逐渐掌握。卡诺图化简法有固定的规律和步骤,且直观简单。只要按已给的步骤进行,就能在实践中较快地寻找到规律。卡诺图化简法对五变量以下的逻辑函数化简非常方便。利用函数中的无关项可使逻辑函数化得更简单。

本章习题

1-1　什么是数字信号，什么是数字电路，数字电路有什么特点？

1-2　什么叫最小项？最小项有什么性质？

1-3　什么叫最简与或式？逻辑函数化简有何意义？

1-4　将下列二进制数转换为十进制数。

(1)101101.11010111；(2)101011.101101。

1-5　将下列十进制数转换为二进制数。

(1)29.625；(2)127.0625；(3)378.875。

1-6　选择题。

(1)若逻辑表达式 $F=\overline{A+B}$，则下列表达式中与 F 相同的是(　　)。

A. $F=\overline{AB}$　　B. $F=\overline{AB}$　　C. $F=\overline{A}+\overline{B}$

(2)若一个逻辑函数由三个变量组成，则最小项共有(　　)个。

A. 3　　B. 4　　C. 8

(3)图 1-25 所示是三个变量的卡诺图，则最简的“与或式”表达式为(　　)。

A. $AB+AC+BC$

B. $\overline{AB}+\overline{B}C+AC$

C. $AB+\overline{BC}+\overline{AC}$

A \ BC	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	1	1	1

图 1-25　习题 1-6(3)图形

(4)下列各式中哪个是三变量 A、B、C 的最小项(　　)。

A. $A+B+C$　　B. $A+BC$　　C. ABC

(5)对于几个变量的最小项的性质，正确的叙述是(　　)。

A. 任何两个最小项的乘积值为 0，n 变量全体最小项之和值为 1

B. 任何两个最小项的乘积值为 0，n 变量全体最小项之和值为 0

C. 任何两个最小项的乘积值为 1，n 变量全体最小项之和值为 1

D. 任何两个最小项的乘积值为 1，n 变量全体最小项之和值为 0

(6)对逻辑函数的化简，通常是指将逻辑函数式化简成最简(　　)。

A. 或与式　　B. 与非式

C. 与或式　　D. 与或非式

(7)对于卡诺图化简叙述正确的是(　　)。

A. 包围圈越大越好，个数越少越好，同一个“1”方块只允许圈一次

B. 包围圈越大越好，个数越少越好，同一个“1”方块允许圈多次

C. 包围圈越小越好，个数越多越好，同一个“1”方块只允许圈一次

D. 包围圈越小越好，个数越多越好，同一个“1”方块允许圈多次

(8)若逻辑函数 $L=A+ABC+BC+\overline{B}C$，则 L 可简化为(　　)。

A. $L=A+BC$　　B. $L=A+C$　　C. $L=AB+\overline{B}C$　　D. $L=A$

(9)若逻辑函数 $L=AD+A\overline{C}+\overline{A}\,\overline{D}+\overline{A}\,\overline{B}C+\overline{D}(B+C)$，则 L 化成最简式为(　　)。

A. $L=A+D+BC$　　B. $L=\overline{D}+ABC$

C. $L=A+\overline{D}+\overline{B}C$　　D. $L=AD+\overline{D}+\overline{A}\,\overline{B}C$

(10)下列写法错误的是(　　)。

A. $(10.01)_2=2.05$

B. $(11.1)_2=(1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1})_2$

C. $(1011)_2=(\mathrm{B})_{16}$

D. $(17\mathrm{F})_{16}=(000101111111)_2$

(11)在逻辑运算中，没有的运算是(　　)。

A. 逻辑加　　B. 逻辑减　　C. 逻辑与或　　D. 逻辑乘

1-7　用真值表证明下列恒等式。

(1)$A\oplus0=A$

(2)$A\oplus1=\overline{A}$

(3)$(A\oplus B)\oplus C=A\oplus(B\oplus C)$

1-8　利用基本定律和运算规则证明下列恒等式。

(1)$\overline{AB}+\overline{A}B=(\overline{A}+\overline{B})(A+B)$

(2)$\overline{AB+\overline{A}\,\overline{C}}=\overline{AB}+\overline{A}C$

(3)$ABC+A\overline{B}C+AB\overline{C}=AB+AC$

(4)$A\oplus\overline{B}=\overline{A}\oplus B$

1-9　写出下列函数的对偶式及反函数。

(1)$Y=A(\overline{B}+C)$

(2)$Y=AB+\overline{\overline{AC}+\overline{D}}$

(3)$Y=A\overline{B}+\overline{A}B$

1-10　利用公式法化简下列逻辑函数为最小与或式。

(1)$Y=AB+\overline{A}B+A\overline{C}+\overline{B}C$

(2)$Y=\overline{A}\cdot\overline{C}+\overline{A}\cdot\overline{B}+BC+\overline{A}\cdot\overline{C}\cdot\overline{D}$

(3)$Y=A\overline{B}+C+\overline{A}\cdot\overline{C}\cdot\overline{D}+\overline{B}\cdot\overline{C}\cdot\overline{D}$

(4)$Y=A+\overline{\overline{B}+\overline{CD}}+\overline{\overline{AD}\cdot\overline{BC}}$

1-11　将下列各式化简为最小项之和的形式。

(1)$Y=\overline{A}BC+AC+\overline{B}C$　　(2)$Y=A\overline{B}\,\overline{C}D+BCD+\overline{A}D$

(3)$Y=A+B+CD$　　(4)$Y=AB+\overline{\overline{BC}\cdot\overline{\overline{C}+D}}$

1-12　用卡诺图化简法化简习题 1-11 中给出的表达式。