

高职高专电气自动化技术专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



数字电子技术及应用

丁景红 主编 李宏 副主编



中国电力出版社

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

职高专电气自动化技术专业规划教材

ZHI GAOZHUAN DIANQI ZIDONGHUA JISHU ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



数字电子技术及应用

主 编 丁景红
副主编 李 宏
编 写 陈容红
主 审 徐丽香



中国电力出版社

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

内 容 提 要

本书为高职高专电气自动化技术专业规划教材。本书共分八章, 主要内容包括数字电路基础知识、集成逻辑门、信号的输入和输出电路、存储器件、寄存器与计数器、时钟电路、控制电路、数字电路识图与应用。本书着重介绍数字电子技术的基本知识、基本原理和基本应用方法的讲解, 着眼于提高学习者的数字电路实验和实践技能, 具有很强的实用性。

本书可作为高职高专自动化类、电子信息类、通信类等相关专业教材, 也可作为函授教材和工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术及应用/丁景红主编. —北京: 中国电力出版社, 2009

高职高专电气自动化技术专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9695 - 8

I. ①数… II. ①丁… III. ①数字电路—电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 202057 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>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 12 月第一版 2009 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 226 千字

定价 15.20 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

本书是高职高专电气自动化技术专业的一门重要的基础课程。作者根据多年教学教研实践的成果，从高职高专的教学实际需要出发，以精简电子元器件内部的机理分析、减少繁杂的电路模型讲解、数学推导和理论分析，适当降低理论知识的深度和难度，由浅入深地阐述了电路技术与应用中的基本概念、基本原理和应用知识。本书内容力求简洁、精练，重点突出电路技术应用中实践技能与方法的学习与指导。

本书是高职高专电气自动化技术专业的主干课程。本课程的任务是教给学生有关数字电路的基本知识、基本原理、逻辑部件及中规模集成电路的分析、设计与应用方法，并使学生对数字电路有一个整体认识，为今后的学习和工作打下一定的基础。

本书的主要内容有：数字电路基础知识、集成逻辑门、信号的输入和输出电路、存储器件、寄存器与计数器、时钟电路、控制电路、数字电路识图与应用。

为了突出能力本位的职教特色，本书各章都列出了明确的学习目标，并对理论知识、功能电路的实际应用及实践中应注意的问题加以介绍；在单元项目电路的制作与调试中，加入了对电路制作的操作指导、电路故障寻找与排除方法等内容，使教材对学生的学学习更有针对性。

本书的实践技能学习与训练的内容，从综合应用课题出发，将该课题电路中的各个模块分解到每一章节中，按循序渐进的学习过程进行编排。每一章节中的单元实训项目，只涉及较单一功能电路的原理、实验、电路制作与调试，当学生学习了各模块的知识后，即可根据不同专业的需要，选择不同类型综合应用电路的学习与制作。

本书第八章中提供了不同梯次和类型的数字电路综合应用实例，为实训教学提供了素材，也为学生学习提供了便利。

本书由广东机电职业技术学院徐丽香主审，提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，加之作者水平有限，书中难免有不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2009年10月

高职高专电气自动化技术专业规划教材

编 委 会

主 任 吕景泉

副主任 狄建雄 凌艺春 谭有广 周乐挺 郝汉琪

秘书长 李兆春

委 员 (按姓氏笔画排序)

丁学恭 马伯华 王 燕 王 蕊 王永红

刘玉娟 刘玉梅 刘保录 孙成普 孙忠献

何 颖 何首贤 张 池 张永飞 张学亮

张跃东 李方园 陆锦军 陈 赵 姚永刚

姚庆文 郭 健 钱金法 常文平 韩 莉

目 录

前言	
绪论	1
第一章 数字电路基础知识	5
第一节 数制和码制	5
第二节 逻辑代数基础	9
第三节 逻辑函数	14
第四节 逻辑函数的化简	15
本章小结	23
思考与练习	24
第二章 集成逻辑门	26
第一节 晶体管的开关特性	26
第二节 TTL 集成门	28
第三节 CMOS 集成门	32
第四节 接口电路	36
实验一 认识常用实验设备和集成电路, 逻辑笔实验与分析	37
本章小结	38
思考与练习	39
第三章 信号的输入和输出电路	41
第一节 编码器	41
第二节 整形电路	44
第三节 译码显示电路	45
第四节 D/A 转换器	53
第五节 A/D 转换器	59
实验二 编码器电路测试	64
实验三 集成数模转换器的应用	65
实训一 编码/译码及数码显示电路的安装与测试	66
本章小结	69
思考与练习	70
第四章 存储器件	71
第一节 基本 RS 触发器	71
第二节 时钟触发器	77
第三节 触发器的选择和使用	84
实验四 集成触发器测试	85

本章小结	87
思考与练习	87
第五章 寄存器与计数器	89
第一节 寄存器	89
第二节 计数器	92
实验五 集成移位寄存器功能测试	99
实训二 广告灯电路制作与测试	100
实训三 计数显示器的安装与测试	102
本章小结	104
思考与练习	104
第六章 时钟电路	106
第一节 RC 环形振荡时钟电路	106
第二节 555 定时器	108
实验六 对称多谐振荡器测试	112
实训四 555 定时器构成的时钟电路制作	113
本章小结	115
思考与练习	115
第七章 控制电路	117
第一节 逻辑函数发生器	117
第二节 加法器	118
第三节 数值比较器	120
第四节 数据选择器和分配器	122
第五节 时序信号发生器	124
实验七 数据选择器电路测试	128
实训五 控制电路设计	129
本章小结	129
思考与练习	129
第八章 数字电路识图与应用	131
第一节 数字电路识图	131
第二节 数字电路综合应用实例	132
本章小结	141
思考与练习	141
附录 实训项目工作表和故障分析表格式	142
参考文献	143

绪 论

一、数字信号与数字电路

在电子工程中,按照所处理的信号形式,电子线路通常分为模拟电路和数字电路两大类。模拟信号指模拟物理量的信号,是一种在时间上和数值上均连续的信号。它可以在一定范围内任意取值。如温度、压力、水位、电压、电流等信号,都是模拟信号。数字信号指在时间上和数值上不连续的(即离散的)信号。它的数值大小及变化都采用数字形式,通常用0和1表示两种对应的状态,故又称二进制信号。模拟信号和数字信号如图0-1所示。

对模拟信号进行传输、处理的电子线路称为模拟电路。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电路。

数字电路与模拟电路相比,主要有以下优点:①由于数字电路是以二值数字逻辑为基础的,只有“0”和“1”两个基本字符,只要处理两种电平,即高电平与低电平,因此易于用电路来实现。②高电平与低电平允许有一定的范围,因此数字电路的抗干扰能力较强,可靠性高。信号易辨别且不易受噪声干扰。③数字电路不仅能完成数值运算,而且能进行逻辑判断和运算,这在控制系统中是不可缺少的。④数字信息便于长期保存,只要能区分两种状态物体就可以记录数字信号,比如可将数字信息存入磁盘、光盘等。

随着电子技术的迅猛发展,特别是集成电路的发展,数字技术的应用已极为广泛,主要体现在:在数字通信系统中,图像、声音等信号可以用若干个“0”和“1”变成各种代码,分别代表不同的信息含义,以实现信息的传递;在自动控制系统中,可以利用数字电路的逻辑功能设计出各种各样的数字控制装置;在测量仪表中,可以利用数字电路对测量信号进行处理,并将测量结果用十进制数码表示出来;在数字电子计算机中,可以利用数字电路实现各种功能的数字信号处理。

二、脉冲信号与脉冲电路

1. 脉冲信号

脉冲信号是指持续时间极短的跃变信号。广义上讲,一切非直流又非正弦交流的电信号统称为脉冲信号。常见的脉冲信号有方波、矩形波、锯齿波、三角波等。图0-2所示为矩形脉冲信号的实际波形。现以它为例外来介绍脉冲的主要参数。

(1) 脉冲幅值 U_m 。表示一个脉冲从起始值到最大值之间的数值大小,是表示脉冲特征

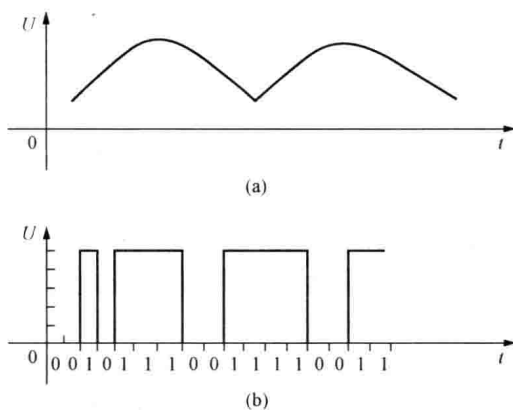


图 0-1 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号; (b) 数字信号

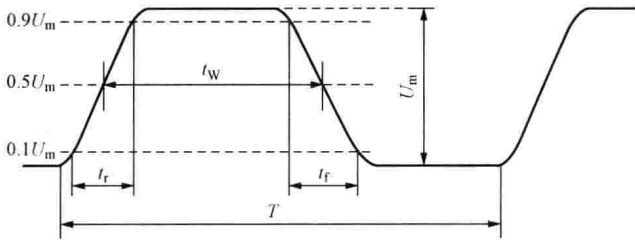


图 0-2 矩形波形的参数

的重要参数。

(2) 脉冲前沿和上升时间 t_r 。脉冲从起始值开始突变到峰值的一侧称为脉冲前沿。脉冲自前沿 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需时间称为上升时间 t_r 。 t_r 越小，脉冲上升就越快。

(3) 脉冲后沿和下降时间 t_f 。脉冲自峰值跃变回起始值的一侧称为脉冲后沿。

从脉冲后沿 $0.9U_m$ 跃变到 $0.1U_m$ 所需的时间称为下降时间 t_f 。 t_f 越小，脉冲下降得越快。

(4) 脉冲宽度 t_w 。在 $0.5U_m$ 处脉冲自前沿到后沿之间的时间间隔称为脉冲宽度。它表示脉冲持续时间。

(5) 脉冲周期 T 。一个周期性脉冲序列。两个相邻脉冲的对应点之间的时间间隔称为脉冲周期 T 。其倒数是脉冲频率 f ，即 $f=1/T$ 。

(6) 占空比 D 。脉冲宽度 t_w 与脉冲周期 T 之间的比值称为占空比 D 。理想的矩形波脉冲，它的上升时间 t_r 和下降时间 t_f 很小，可以认为是零。这时脉冲的参数值需要三个，即脉冲幅值 U_m 、脉冲宽度 t_w 、脉冲周期 T 。此时该矩形波就可以示为理想脉冲。

2. 脉冲电路与数字电路的关系

从信号上讲，当数字电路的基本单元不断在“0”和“1”两种状态之间快速转换时，便产生一系列的矩形脉冲信号，故数字电路是一种脉冲电路，也可以说数字电路是以脉冲电路为基础的一个分支。

但数字电路分析的重点是电路的逻辑功能，采用的是逻辑分析的方法，所用的数学工具是逻辑代数。而脉冲电路分析的重点是电路输入、输出波形的形状、幅度和周期等，采用的是模拟电路的分析方法，即频域法和时域法。因此，数字电路和脉冲电路既有关联，又有区别。

三、数字电路的一些规定

在日常生活中，我们经常会遇到事件的两个相对的方面或状态，称为逻辑状态。比如，灯泡的“亮”与“灭”，脉冲的“有”与“无”，电位的“高”与“低”。在用数学推理方法解决这些事件时，常把事件的两种状态分别用逻辑符号“1”和“0”来表示。我们把它们称为逻辑“1”和逻辑“0”。例如，通常开关的接通或二极管的导通状态用“1”表示，反之用“0”表示。总之，一种逻辑状态用“1”表示，而另一种逻辑状态用“0”表示。

由于数字电路的输入信号和输出信号只有两种可能的状态，即“1”和“0”，而且输出信号与输入信号之间存在一定的逻辑关系，因此数字电路也称为数字逻辑电路。若规定高电平为逻辑“1”，低电平为逻辑“0”，则称之为正逻辑体制；反之称为负逻辑体制。本教材采用正逻辑体制。

四、数字电路系统的组成

数字电路系统一般包括信号输入、输出电路、信号存储、寄存电路、计数电路、控制电路、时钟电路和电源电路等。图 0-3 和图 0-4 分别是数字电子钟的结构框图和多路智力抢答器的结构框图。

下面分别介绍数字电路系统各部分的组成和主要功能。

1. 信号输入和输出电路

信号输入电路的主要作用是将被控信号加工变换成数字信号，其形式包括各种输入接口电路。它主要的单元电路有输入放大电路、整形电路、编码器电路、模数转换电路等。

输入放大电路可实现对微弱输入信号进行放大。

整形电路可将任意信号转换成数字电路可以处理的数字信号。

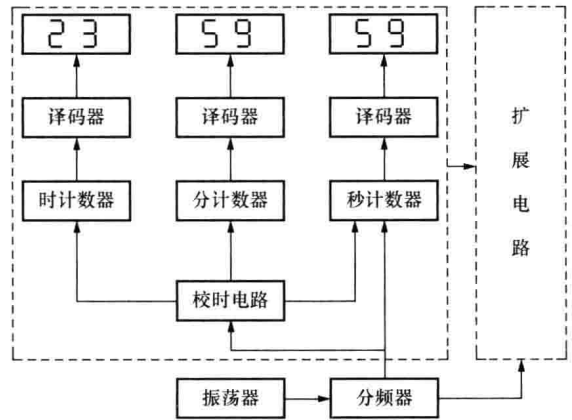


图 0-3 数字电子钟的结构框图

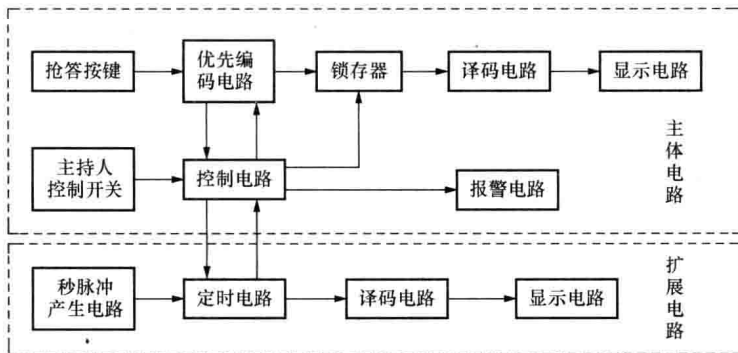


图 0-4 多路智力抢答器的结构框图

编码器电路可实现将十进制“数”和 A、B、C 等“文字”转换成二进制码，再送入数字电路和计算机中进行处理。

在数字电路系统的输入端，有些模拟信号则可以通过模数转换电路，将模拟信号转换成数字信号后再送入电路中进行处理。

信号输出电路的主要作用是完成系统最后逻辑功能的重要部分。数字电路系统中存在各种各样的输出接口电路，其功能可能是发送一组经系统处理后的数据，或显示一组数字，或将数字信号进行转换，变成模拟输出信号等。输出电路主要的单元电路有译码显示与驱动电路、数模信号转换电路等。

译码器电路能够解读数字电路与计算机处理后的数字信号。

数码显示与驱动电路可显示译码器解读后的数字或符号。

数模信号转换电路可将数字信号转换成模拟信号输出。

2. 信号存储、寄存电路

信号存储电路是数字逻辑电路的重要组成部分。它用于暂时存放数字电路和计算机处理的二进制数码。信号存储电路有各类触发器电路、锁存器电路、寄存器电路等。

触发器、锁存器电路能够存储一位或多位二进制数码。

寄存器电路除了能存储 N 位二进制数码，为了控制信号的接受、清除或输出，还具有

移位的功能。

3. 计数电路

计数器是数字系统中应用最广泛的时序逻辑部件之一，是数字设备和数字系统中不可缺少的组成部分。计数器的基本功能就是计算输入脉冲的个数，除了计数以外，计数器还可以用作定时、分频、信号产生和执行数字运算等。

4. 控制电路

控制电路的主要作用是将信息进行加工运算，并为系统各部分提供所需的各种控制信号，产生这种信号输出的电路即为控制电路，它们是整个系统的核心。控制电路主要的单元电路有由各种基本逻辑门组成的组合电路；由组合电路典型芯片组成的各种逻辑运算和判别电路等；由各类触发器电路、寄存器电路和计数器电路等组成的各类时序信号产生电路。

基本逻辑门电路可实现对数字信号的流动、停止或改变其流动方向的控制。

组合电路典型芯片组成的各种逻辑运算和判别电路可完成对数字信号作加法、比较、选择和分配等处理。

各类时序逻辑部件所构成的时序信号产生电路可产生所需的不同时序控制信号。

例如：数字电路中的定时器电路，它可将计数脉冲按一定的时间周期（定时器的定时时间）一组一组地送给地址计数器，形成时间控制。

5. 时钟电路

时钟电路是数字电路系统中的灵魂，它属于一种控制电路，整个系统都在它的控制下按一定的规律工作。时钟电路包括主时钟振荡电路及经分频后形成各种时钟脉冲的电路。时钟电路主要的单元电路有 555 多谐振荡器电路、石英晶体振荡器电路、RC 环形振荡器电路、单稳态多谐振荡器电路、计数器分频电路等。

555 多谐振荡器电路、石英晶体振荡器电路、RC 环形振荡器电路可以产生数字电路所需的主时钟信号。

计数器电路可以用来作分频器电路，以便将较高的振荡频率信号转换成数字电路所需的各种时钟信号。

单稳态多谐振荡器电路可对信号波形进行整形、延迟脉冲时间等。

例如：数字钟或数字频率计数器中的基准时间形成电路等都属于时钟电路。

6. 电源电路

电源电路为整个系统工作提供所需的能源，为各端口提供所需的直流电压。在数字电路系统中，TTL 电路对电源电压要求比较严格，电压值必须在一定范围内。CMOS 电路对电源电压的要求相对比较宽松。

任何复杂的数字电路系统都可以逐步被划分成不同层次、相对独立的子系统。我们对子系统的逻辑关系、时序等分析，可以选用合适的数字电路器件来实现各子系统。将各子系统组合起来，就能够完成整个大系统的逻辑功能。

数字电路基础知识

学习目标

- (1) 了解数制及其转换的基本知识。
- (2) 了解基本逻辑门电路。
- (3) 掌握基本的逻辑运算方法。
- (4) 掌握逻辑函数的五种表示方法及它们之间的相互转换。
- (5) 会利用公式化简法和卡洛图化简法对逻辑函数进行化简。

第一节 数制和码制

用数码表示数量的多少称为计数，而用何种方法来计数则是计数体制问题。我们在日常生活及生产中广泛使用的计数体制是十进制。而在数字系统中讨论的是用电路实现逻辑关系的问题，采用的是二进制计数体制。

几个相关概念：

(1) 进位制。表示数时，仅用一位数码往往不够用，必须用进位计数的方法组成多位数码。多位数码每一位的构成以及从低位到高位进位的规则称为进位计数制，简称进位制。常用的进位制有十进制、二进制、十六进制和八进制。

(2) 基数。进位制的基数，就是在该进位制中可能用到的数码个数。如十进制的基数是 10，数码为 0~9；二进制是 2，数码是 0、1；十六进制是 16，数码是 0~F。

(3) 位权（位的权数）。在某一进位制的数中，每一位的大小都对应着该位上的数码乘上一个固定的数，这个固定的数就是这一位的权数。权数是一个幂，如 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 等。

一、几种常见数制

1. 十进制

我们熟悉的十进制数每位的数码是 0~9，共十个数，即系数为 0~9。超过 9 的数就要用多位表示，即“逢十进一”，每位的基数是 10，权为 10 的幂。任意一个十进制数可表示为

$$(N)_{10} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 10^i \quad (1-1)$$

例如： $(2347.35)_{10} = 2 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$

2. 二进制

二进制数只有两个数，用 0 和 1 表示。书写的规则上仍然按照从低位到高位、从右向左依次排列。例如：十进制数中的 $(6)_{10}$ 用二进制数则表示为 $(110)_2$ ，这里读作一一零，而不是一百一十。计数规则为逢二进一。

二进制数的运算与我们常用的十进制数的运算法则是一致的，只是要注意在十进制的运

算中是逢十进一，借一当十；而在二进制运算中则是逢二进一，借一当二。

任意二进制数可表示为

$$(N)_2 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 2^i \quad (1-2)$$

$$\begin{aligned} \text{例如: } (101101)_2 &= 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 32 + 8 + 4 + 1 = (45)_{10} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (101.101)_2 &= 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 4 + 1 + 0.5 + 0.125 = (5.625)_{10} \end{aligned}$$

3. 八进制

八进制有 0~7 八个数码，每位的基数为 8，计数规律是逢八进一。其表达式为

$$(N)_8 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 8^i \quad (1-3)$$

$$\text{例如: } (132.4)_8 = 1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} = (90.5)_{10}$$

4. 十六进制

十六进制数使用 0~9、A、B、C、D、E、F 等 16 个数码，其中 A 代表 10、B 代表 11、C 代表 12、D 代表 13、E 代表 14、F 代表 15，每位的基数为 16。其表达式为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 16^i \quad (1-4)$$

式中： K_i 可取 0~F 这 16 个数中的任意一个数码， 16^i 则为第 i 位的“权”数。例如一个十六进制数 A3F.C，可按式 (1-4) 展开表示为

$$\begin{aligned} (A3F.C)_{16} &= A \times 16^2 + 3 \times 16^1 + F \times 16^0 + C \times 16^{-1} \\ &= 2560 + 48 + 15 + 0.75 = (2623.75)_{10} \end{aligned}$$

表 1-1 为各进制间的对照表。

表 1-1

各进制间对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0	8	1000	10	8
1	0001	1	1	9	1001	11	9
2	0010	2	2	10	1010	12	A
3	0011	3	3	11	1011	13	B
4	0100	4	4	12	1100	14	C
5	0101	5	5	13	1101	15	D
6	0110	6	6	14	1110	16	E
7	0111	7	7	15	1111	17	F

二、各进制之间的相互转换

1. 二进制与十进制间的转换

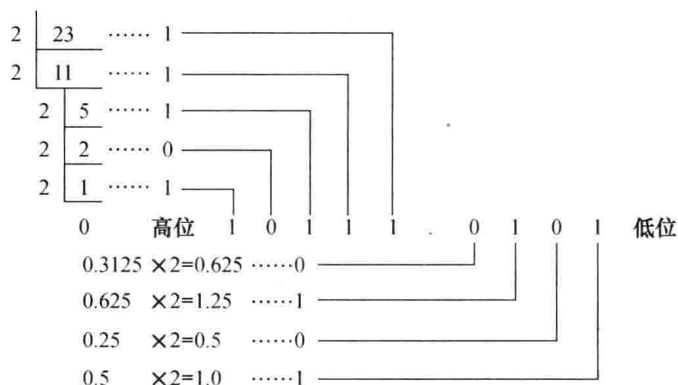
(1) 二进制数转换为十进制数。二进制数转换为十进制数的方法是“按位权展开求和法”。如 $(1011001.01)_2 = 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 64 + 0 + 16 + 8 + 0 + 0 + 1 + 0 + 1/4 = (89.25)_{10}$ 。

注意：这里是将二进制数中按照由高位到低位的顺序，将每一位数乘以 2 的 n 次幂，数字 2 就是我们说的基数，对应的幂次是由该位数字所在的位置决定的，即以小数点为界线向左侧（整数部分）为 0, 1, 2, 3, 4, …，向右侧（小数部分）为 -1, -2, -3, …。

(2) 十进制数转换为二进制数。十进制数转换为二进制数的方法是整数部分除 2 取余法，即将十进制数除以 2，取其余数（0 或 1），再将前一步所得之商除以 2，取其余数，重复这一步直到其余数为零，将所得的余数依次排列。所得余数即为对应的二进制数。小数部分乘 2 取积法，即将小数部分乘以 2，将得到的积中的整数部分留下（1 或 0），剩下的小数部分仍乘以 2，重复前面的步骤，直到所得积的小数部分为零，或者达到要求的小数位数。对于同时具有整数和小数部分的数，可将其分解为整数部分和小数部分，再分别转换。

【例 1-1】 将十进制数 $(23.3125)_{10}$ 转换成二进制数。

解



则 $(23.3125)_{10} = (10111.0101)_2$

2. 二进制与十六进制间的相互转换

二进制数转换为十六进制数的方法是整数部分从低位开始，每四位二进制数为一组，最后不足四位的，则在高位加 0 补足四位为止；小数部分从高位开始，每四位二进制数为一组，最后不足四位的，在低位加 0 补足四位，然后用对应的十六进制数来代替，再按顺序写出对应的十六进制数。

十六进制数转换成二进制数的方法是将每位十六进制数用四位二进制数来代替，再按原来的顺序排列起来便得到了相应的二进制数。

【例 1-2】 (1) 将二进制数 $(10011111011.111011)_2$ 转换成十六进制数。

(2) 将十六进制数 $(3BE5.97D)_{16}$ 转换成二进制数。

解 (1) $(10011111011.111011)_2 = (4FB.EC)_{16}$

(2) $(3BE5.97D)_{16} = (11101111100101.100101111101)_2$

三、码制

数字系统只能识别 0 和 1，怎样才能表示更多的数码、符号、字母呢？用编码可以解决此问题。用一定位数的二进制数来表示十进制数码、字母、符号等信息称为编码。编码的方式称为码制。

1. 几种简单的编码

为了便于数字系统处理十进制数，经常采用编码的方法，即以若干位二进制码来表示一位十进制数，这种代码称为二进制编码的十进制数，简称二—十进制码，或 BCD (Binary

Coded Decimal Codes) 码。因为十进制数有 0~9 共 10 个计数符号, 为了表示这 10 个符号中的某一个, 至少需要 4 位二进制数。4 位二进制数共有 16 种组合, 我们可以在 16 种不同的组合代码中任选 10 种来表示十进制数的 10 个不同计数符号。根据这种要求我们可供选择的方法很多。选择的方法不同, 就可以得到不同的编码。常见的有 8421 码、5421 码、2421 码和余 3 码等, 如表 1-2 所示。

表 1-2 常用 BCD 码

十进制数	有 权 码				无权码
	8421 码	5421 码	2421 (A) 码	2421 (B) 码	余 3 码
0	0000	0000	0000	0000	0011
1	0001	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0010	0010	0101
3	0011	0011	0011	0011	0110
4	0100	0100	0100	0100	0111
5	0101	1000	0101	1011	1000
6	0110	1001	0110	1100	1001
7	0111	1010	0111	1101	1010
8	1000	1011	1110	1110	1011
9	1001	1100	1111	1111	1100

【例 1-3】 (1) 把 $(10001001)_{8421BCD}$ 码转换成十进制数。

(2) 把 $(38)_{10}$ 转换成 8421BCD 码。

解 (1) $(1000\ 1001)_{8421BCD} = (89)_{10}$

(2) $(38)_{10} = (0011\ 1000)_{8421BCD}$

可以发现, 用 8421 码表示十进制数, 数是从低位到高位按照每四位一组, 每组表示一位十进制数, 对应写出的, 最高位前面的零可以省略。将 8421 码转换为十进制数, 可以从最低位开始, 按每四位一组, 最高位不足四位添零补齐。

2. 编码的应用

计算机内部只有二进制数, 任何符号在计算机内部都以二进制形式存在。如图 1-1 所示。

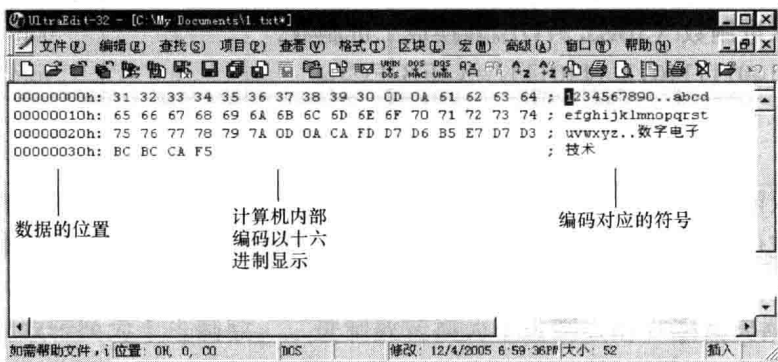


图 1-1 计算机内部的二进制数

第二节 逻辑代数基础

逻辑代数是研究逻辑电路的数学工具。它的基本概念是由英国数学家乔治布尔在 1847 年提出的，故也称为布尔代数。

一、基本逻辑运算

逻辑代数中的变量不表示数值，只表示两种对立的状态，如脉冲的有无、开关的接通和断开、命题的正确和错误等。因此，这些变量的取值只能是 0 或 1，这些变量称为逻辑变量。此外，逻辑代数中变量的运算和普通代数也有不同的地方。在逻辑代数中只有 3 种基本的逻辑运算，即“与”、“或”、“非”。下面分别予以介绍。

1. 与逻辑运算

图 1-2 表示了一个简单的与逻辑电路，电池通过开关 A 和 B 向电灯 Y 供电，显然只有当两个开关同时接通时，灯泡才会亮。这两个开关中只要有一个或两个没接通，灯就不亮。其真值表如表 1-3 所示。所谓真值表，就是用表格形式全面、直观地描述所有输入变量（前提条件）取值的各种可能组合和对应的输出变量（结果）值之间的逻辑关系。所以，真值表是描述逻辑关系的重要工具。

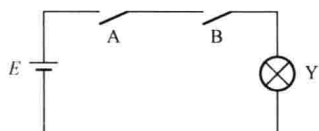


图 1-2 与逻辑电路

表 1-3 与真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

对于开关 A 和 B 的取值，0 表示开关断开，1 表示开关闭合；对于灯 Y 的取值，0 表示灯灭，1 表示灯亮。在下面或逻辑运算和非逻辑运算中，A、B、Y 的取值含义与此相同。

我们可以总结出与的逻辑关系：“只有当一件事（灯亮）的几个条件（开关 A 和 B 接通）同时都具备之后，这件事（灯亮）才发生”，这就是“与”逻辑。“与”逻辑关系可以表示为

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

式 (1-5) 就是“与”逻辑表达式，A 和 B 是输入逻辑变量，Y 是输出逻辑变量，“·”是逻辑乘的运算符号，可以省略。与逻辑符号如图 1-3 所示。“与”又可叫做逻辑乘，它与普通的乘法运算一样，即

$$0 \cdot 0 = 0$$

$$0 \cdot 1 = 0$$

$$1 \cdot 0 = 0$$

$$1 \cdot 1 = 1$$

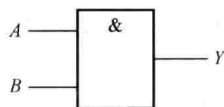


图 1-3 与逻辑符号

2. 或逻辑运算

图 1-4 表示了一个简单的“或”逻辑电路，电池通过开关 A 或 B 向灯泡 Y 供电。只要开关中有一个或两个接通，灯就会亮。而当两个开关同时都不接通时，灯则不亮。其真值表

如表 1-4 所示。我们可以总结出或的逻辑关系：“当一件事成立（灯亮）的几个条件（开关 A 和 B 至少有一个接通）只要有一个具备之后，这件事（灯亮）才发生”，这就是“或”逻辑。或逻辑符号如图 1-5 所示。

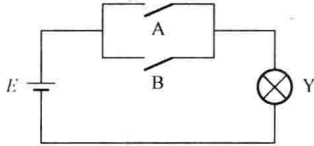


图 1-4 或逻辑电路

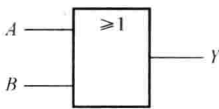


图 1-5 或逻辑符号

表 1-4 或真值表

输 入		输 出
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

“或”逻辑关系可以表示为

$$Y = A + B \tag{1-6}$$

式 (1-6) 就是“或”逻辑表达式，注意这里的“+”是作或逻辑运算，而不是加法运算，这一点要与“加法”区分开，运算法则如下

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0 \\ 0 + 1 &= 1 \\ 1 + 0 &= 1 \\ 1 + 1 &= 1 \end{aligned}$$

3. 非逻辑运算

图 1-6 表示了一个“非”逻辑电路，在电路中，灯 Y 在开关 A 断开的情况下，能正常发光，当开关 A 闭合时，因为灯被短路而灯灭。其真值表如表 1-5 所示。我们可以总结出非的逻辑关系：“当一件事成立（灯亮）的几个条件（开关 A 不接通）不具备时，这件事（灯亮）才发生，具备时反而不发生”，这就是“非”逻辑。非逻辑符号如图 1-7 所示。

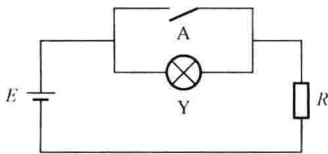


图 1-6 非逻辑电路

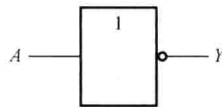


图 1-7 非逻辑符号

表 1-5 非真值表

输 入	输 出
A	Y
0	1
1	0

“非”逻辑关系可以表示为

$$Y = \bar{A} \tag{1-7}$$

“非”逻辑运算规则如下

$$\begin{aligned} \bar{0} &= 1 \\ \bar{1} &= 0 \end{aligned}$$

二、复合逻辑运算

复合逻辑是由基本的逻辑关系组合而成的，常见的有“与非”、“或非”、“与或非”、“异或”、“同或”几种。