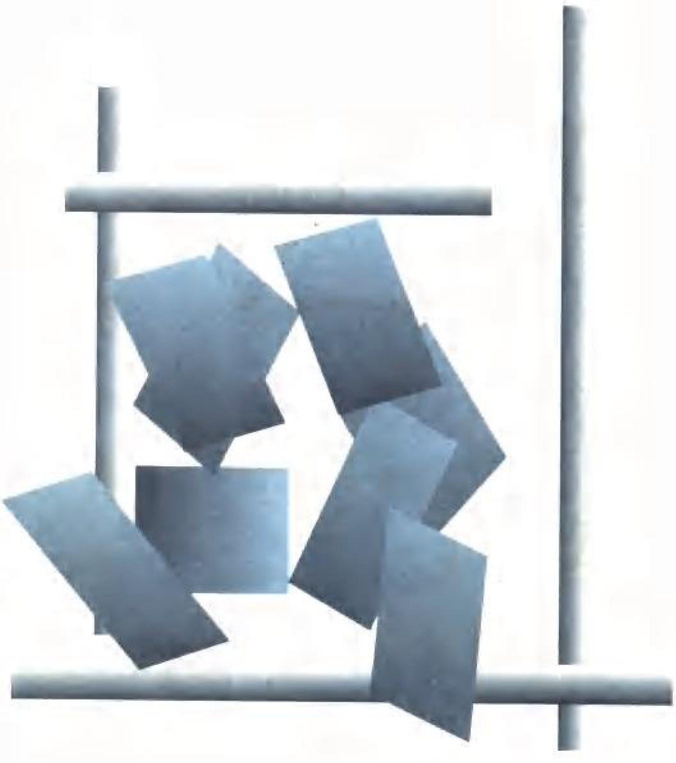
数字电子技术基础教程

陈 晰 主编



科学出版社

数字电子技术基础教程

陈　晰　主编

科学出版社

1998

内 容 简 介

本书是1989年科学出版社出版的《数字电子技术基础》(欧阳大鹤、陈晰等编著)一书的修订版。本书是根据国家教委批准的《高等工业学校电子技术课程教学基本要求》按50～60学时授课时间编写的。内容包括:逻辑代数基础,基本门电路,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,集成脉冲单元电路,数模与模数转换器,可编程逻辑器件以及数字集成电路应用中的一些实际问题。

本书基本概念叙述简明扼要,逻辑分析方法易于掌握。在处理基本单元电路和中大规模集成电路关系时,力求把基本逻辑单元电路讲透,并增加了具有发展前景的器件和技术内容。

本书可作为高等学校电气技术与自动化专业及其相关专业的"数字电子技术"课程教材,也可作为有关工程技术人员自学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础教程/陈晰 主编.-2版.-北京:科学出版社,1998.8

ISBN 7-03-006698-7

Ⅰ.数… Ⅱ.陈… Ⅲ.数字电路-教材 Ⅳ.TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(98)第17676号

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

北京双青印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1989年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16
1998年8月第 二 版 印张:15 1/4
1998年8月第二次印刷 字数:342 000
印数:4 001—9 000

定价:20.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前　　言

本书是根据国家教委制订的“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”，按照加强基础、拓宽应用、注重能力培养的原则，在原《数学电子技术基础》一书的基础上，修订、改编的一本实用性较强的教科书。

原书出版至今已有10年的时间。这10年来，数字电子技术飞速发展，新电路、新器件不断涌现，为数字系统的实现提供了新的思路和手段；同时也造成了数字电子技术的内容急剧增加，给教学带来了新的困难，尤其是内容多与学时少的矛盾非常突出。为此，我们结合目前国内外电子技术应用的现状，在保留原书始终贯穿用逻辑代数对电路进行分析的方法及时序电路分析和设计中采用的次态卡诺图法的同时，对原书进行了全面的修订、改编：(1)将基本开关电路(含TTL,CMOS等)全部集中到第二章，结合第一章，以强化逻辑概念、奠定逻辑分析基础为目的，进行简化和重新组合，同时增加了一些实用性的内容。(2)将各种类型的触发器集中到第四章，以强化时序逻辑概念、掌握次态卡诺图为出发点进行组合，为一般时序电路的分析和设计奠定基础。(3)对于一般组合电路、时序电路的分析及设计进行了简化，把重点移到中大规模集成电路的分析和应用上，并增加了一些应用实例。(4)增添了A/D和D/A及可编程逻辑器件的应用等新内容。(5)全部采用新国标符号。与原书相比，本书无论在结构体系上还是在内容取舍上都做了较大的变动。

本书由陈晰主编，集体执笔。其中第一、八章由穆冬执笔；第二、四、五章由陈晰执笔；第三、六章由陈则王执笔；第七章由孔德明、陈晰执笔。韩瑞祧负责全书的统稿校对工作。由于工作的变动，欧阳天鹤、王梅香、赵明谦未能参加本书的编写工作，但他们对原书所做的贡献及对修订、改编工作的支持都是本书得以完成的基础。特别是王梅香老师对本书的出版提出了宝贵的指导性意见。

本书在编写过程中，还得到南京航空航天大学许多老师和同学的支持和帮助。沈嗣昌、吴庆宪老师对本书的编写工作给予了肯定和支持，孔德明、吴耀清、李亚峰、刘瑶、刘峰峰、卜冬梅等为本书插图的绘制及文字录入工作付出了辛勤劳动，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间仓促，书中不妥和错误在所难免，诚望读者批评指正。

编著者

1998年5月

于南京航空航天大学

第一版前言

由于电子技术的迅速发展，新器件和新电路不断涌现，造成了数字电子技术内容的急剧增加，给教学带来了困难，尤其是内容多与学时少的矛盾难以克服。结合我国电子工业发展的现状，为较好地解决这些问题，我们采取了以下措施：(1)在当前集成化数字电路应用越来越广泛的形势下，我们将分立元件电路完全予以删除。(2)在内容的安排下，以小规模和中规模集成电路为主干，同时兼顾了大规模数字集成电路。(3)在介绍基本概念的同时，重点地分析了一些中规模和大规模数字集成电路的工作原理及其扩展应用。(4)除数字电路外，还适当地介绍了一些常用的脉冲电路的工作原理和设计方法。

编写本书时，我们力求做到深入浅出、循序渐进，在比较详细地阐明数字电路的基本原理同时，又具体地介绍了一些常用电路的分析设计方法。本书始终贯穿应用逻辑代数对电路进行分析研究。在时序逻辑电路中采用了较简捷的触发器输出变量卡诺图法进行分析讨论，给教学与自学带来了许多方便。这一点经过两年多的教学实践得到了证明。

本书共分六章，其中第一、六章由赵鸣谦同志执笔，第二、五章由陈晰同志执笔，第三章由王梅香同志执笔，第四章由欧阳天鹤、王梅香同志执笔。本书由欧阳天鹤同志主编。王梅香同志负责全书的统稿工作。

本书承北京计算机学院董存增、林定基同志审稿，他们对书稿提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。本书在编写过程中，还得到了陈宁生、吴耀清及居美华等同志帮助，在此一并表示谢意。

由于编写时间仓促，加之编著者水平所限，书中缺点与错误在所难免，殷切希望读者予以批评指正。

编著者

1986年元月

于南京航空学院

目　　录

第一章　逻辑代数基础及逻辑函数的化简 …… (1)

1.1　数字电子技术概述 …… (1)

1.1.1　数字电子技术的外延和内涵 …… (1)

1.1.2　数字电子技术的核心内容 …… (2)

1.1.3　数字电子技术的数学工具 …… (2)

1.2　数制与码制 …… (3)

1.2.1　几种常用的计数制 …… (3)

1.2.2　不同计数制之间的相互转换 …… (5)

1.2.3　几种常用的编码制 …… (6)

1.3　逻辑关系与逻辑表达式 …… (8)

1.3.1　逻辑量 …… (9)

1.3.2　三种基本逻辑关系 …… (9)

1.3.3　逻辑表达式 …… (11)

1.3.4　“异或”逻辑和“同或”逻辑 …… (11)

1.4　逻辑代数的规则与公式 …… (11)

1.4.1　常量变量关系 …… (12)

1.4.2　五个定律 …… (12)

1.4.3　逻辑代数中的三个规则 …… (12)

1.4.4　逻辑代数中的几个常用公式 …… (15)

1.4.5　逻辑表达式的代数法化简 …… (16)

1.4.6　逻辑表达式的变换 …… (19)

1.5　逻辑函数及其表示方法 …… (20)

1.5.1　逻辑函数 …… (20)

1.5.2　最小项 …… (21)

1.5.3　逻辑函数的表示方法 …… (22)

1.6　逻辑函数的卡诺图法化简 …… (25)

1.6.1　卡诺图法化简的依据 …… (25)

1.6.2　卡诺图法化简 …… (26)

1.6.3　几个与卡诺图法化简有关的问题 …… (29)

1.6.4　约束和带有约束的逻辑函数的化简 …… (30)

第二章　逻辑门电路 …… (34)

2.1　开关管特性 …… (34)

2.1.1　二极管的开关特性 …… (34)

2.1.2　三极管的开关特性 …… (36)

2.1.3　MOS场效应管的开关特性 …… (43)

2.2　基本逻辑门 …… (48)

2.2.1 二极管门电路 …… (48)
2.2.2 逻辑关系的几种表示方法及其转换 …… (50)
2.2.3 三极管逻辑门 …… (52)
2.2.4 二极管-三极管逻辑门 …… (56)
2.2.5 逻辑符号运用技巧 …… (57)
2.2.6 MOS门电路 …… (58)
2.3 集成逻辑门 …… (65)
2.3.1 数字集成电路概述 …… (65)
2.3.2 DTL、HTL电路 …… (66)
2.3.3 TTL与非门 …… (67)
2.3.4 TTL电路的主要性能参数 …… (70)
2.3.5 TTL集电极开路门和三态门 …… (72)
2.4 TTL、CMOS集成电路应用中的几个问题 …… (76)
2.4.1 TTL系列电路及其使用 …… (76)
2.4.2 MOS系列电路及其使用 …… (76)
2.4.3 TTL与CMOS电路的连接 …… (77)
第三章 组合逻辑电路 …… **(78)**
3.1 组合逻辑电路分析 …… (78)
3.2 组合逻辑电路设计 …… (79)
3.2.1 组合逻辑电路设计的任务和步骤 …… (79)
3.2.2 不含约束项的组合逻辑电路设计 …… (80)
3.2.3 含有约束项的组合逻辑电路设计 …… (82)
3.3 编码器 …… (85)
3.3.1 二进制编码器 …… (85)
3.3.2 二-十进制编码器 …… (86)
3.3.3 优先编码器 …… (87)
3.4 译码器 …… (90)
3.4.1 概述 …… (90)
3.4.2 二进制译码器的设计 …… (90)
3.4.3 二进制译码器的应用 …… (92)
3.4.4 二-十进制译码器的设计 …… (96)
3.4.5 七段字形译码器的设计 …… (97)
3.5 数码比较器 …… (101)
3.6 数据选择器 …… (103)
3.6.1 数据选择器原理 …… (103)
3.6.2 数据选择器的应用 …… (105)
第四章 触发器 …… **(110)**
4.1 触发器的基本结构 …… (110)
4.1.1 基本RS触发器 …… (110)
4.1.2 同步RS触发器 …… (113)
4.2 几种常用触发器 …… (114)
4.2.1 主从结构触发器 …… (114)

4.2.2 维持阻塞触发器 …………………………………………………… (117)
4.2.3 负边沿触发JK触发器…………………………………………………… (119)
4.3 CMOS触发器 …………………………………………………… (120)
4.3.1 CMOS主从结构D触发器 …………………………………………………… (120)
4.3.2 CMOS主从JK触发器 …………………………………………………… (122)
4.4 触发器的分类及转换 …………………………………………………… (122)
4.4.1 触发器各种逻辑功能的通式 …………………………………………………… (123)
4.4.2 触发器的功能转换 …………………………………………………… (124)
4.5 触发器应用举例 …………………………………………………… (127)
4.5.1 开关接触噪声消除电路 …………………………………………………… (127)
4.5.2 双相时钟脉冲电路 …………………………………………………… (127)
4.5.3 抢答电路 …………………………………………………… (128)
第五章 时序逻辑电路 …………………………………………………… **(130)**
5.1 概述 …………………………………………………… (130)
5.1.1 时序逻辑电路的特点与分类 …………………………………………………… (130)
5.1.2 时序逻辑电路描述的特殊问题 …………………………………………………… (131)
5.2 时序电路分析的一般方法…………………………………………………… (134)
5.2.1 同步时序电路分析 …………………………………………………… (134)
5.2.2 异步时序电路分析 …………………………………………………… (138)
5.3 同步时序电路设计的一般方法 …………………………………………………… (139)
5.3.1 莫尔型同步时序电路的设计 …………………………………………………… (139)
5.3.2 时序电路设计中的方法问题 …………………………………………………… (142)
5.3.3 米勒型同步时序电路的设计 …………………………………………………… (147)
5.4 寄存器和移位寄存器 …………………………………………………… (152)
5.4.1 概述 …………………………………………………… (152)
5.4.2 数码寄存器 …………………………………………………… (153)
5.4.3 移位寄存器 …………………………………………………… (154)
5.4.4 MOS移位寄存器…………………………………………………… (157)
5.4.5 寄存器的应用 …………………………………………………… (160)
5.5 计数器…………………………………………………… (164)
5.5.1 概述 …………………………………………………… (164)
5.5.2 异步计数器分析 …………………………………………………… (165)
5.5.3 同步计数器分析 …………………………………………………… (167)
5.6 集成计数器及其应用 …………………………………………………… (169)
5.6.1 2-16进制计数器(74LS161) …………………………………………………… (169)
5.6.2 同步可逆计数器(74LS192)…………………………………………………… (173)
5.6.3 2×5-10进制计数器(74LS290) …………………………………………………… (178)
5.6.4 应用举例 …………………………………………………… (18[illegible])
第六章 脉冲产生与波形变换…………………………………………………… **(183)**
6.1 RC电路的瞬态公式 …………………………………………………… (183)
6.2 单稳态触发器 …………………………………………………… (184)
6.2.1 TTL与非门的关门电阻R_{off}和开门电阻R_{on} …………………………………………………… (184)

6.2.2 积分型单稳态触发器 …… (186)
6.3 多谐振荡器 …… (189)
6.3.1 带有 *RC* 电路的环形多谐振荡器 …… (189)
6.3.2 石英晶体稳频的多谐振荡器 …… (193)
6.4 集成定时器 …… (194)
6.4.1 定时器简介 …… (194)
6.4.2 定时器应用 …… (195)
第七章 数/模和模/数转换器 …… (200)
7.1 数/模转换器(DAC) …… (200)
7.1.1 DAC 原理 …… (200)
7.1.2 权电阻网络 DAC …… (201)
7.1.3 T 型解码网络 DAC …… (202)
7.1.4 DAC 的主要指标 …… (203)
7.1.5 集成 DAC 举例 …… (204)
7.2 模/数转换器(ADC) …… (206)
7.2.1 并联比较型 ADC …… (206)
7.2.2 计数型 ADC …… (208)
7.2.3 逐次逼近型 ADC …… (210)
7.2.4 双积分型 ADC …… (211)
7.2.5 ADC 的主要指标 …… (212)
7.2.6 集成 ADC 电路介绍 …… (213)
第八章 可编程逻辑器件及其应用 …… (216)
8.1 可编程逻辑器件的基本工作原理 …… (216)
8.1.1 可编程逻辑器件的表示方法 …… (216)
8.1.2 可编程逻辑器件的基本结构 …… (218)
8.1.3 可编程逻辑器件的基本工作原理 …… (219)
8.2 可编程逻辑阵列(PLA)及其应用 …… (219)
8.2.1 器件结构 …… (219)
8.2.2 应用举例 …… (219)
8.3 可编程阵列逻辑(PAL)及其应用 …… (220)
8.3.1 器件结构 …… (220)
8.3.2 应用举例 …… (221)
8.4 通用阵列逻辑(GAL)及其开发 …… (223)
8.4.1 器件结构 …… (223)
8.4.2 输出逻辑宏单元和五种工作模式 …… (224)
8.4.3 开发 …… (227)
8.5 现场可编程门阵列(FPGA)及其开发 …… (227)
8.5.1 器件结构 …… (227)
8.5.2 开发 …… (229)
参考文献 …… (231)

第一章　逻辑代数基础及逻辑函数的化简

1.1　数字电子技术概述

1.1.1　数字电子技术的外延和内涵

数字电子技术是电子技术的一个组成部分，它与模拟电子技术是并列的两个概念，同模拟电子技术一起，构成了电子技术的主体。两者的区别，在于它们各自所处理的信号在形式上有所不同。模拟电子技术处理的信号是模拟信号，而数字电子技术处理的信号是逻辑信号。

模拟信号是在时间和取值上都连续的信号。图 1-1 是模拟信号的一个例子。图中示意的是用热电偶测量一个容器内的温度，热电偶的输出电压 v_o 的大小就反映着温度的高低。某一段时间内测得的 v_o 信号如坐标图中 $v_o(t)$ 所示。此信号在该时间段中的每时每刻的值，都反映着容器内每时每刻的温度，对观测者都有意义。而且信号的大小会随容器内温度的不同在一定范围内连续变化，不同的值反映不同的温度。

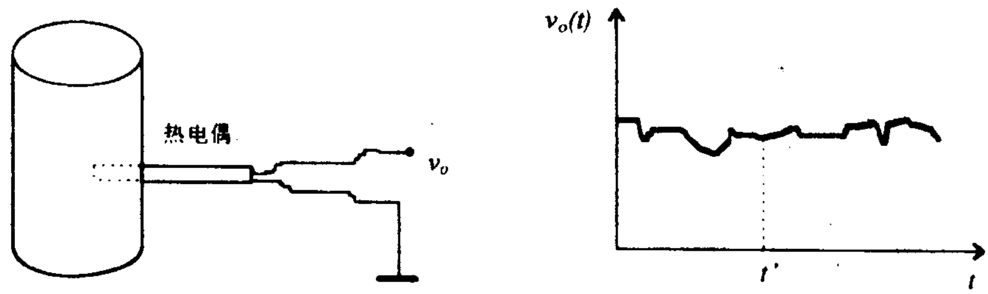


图 1-1　模拟信号的例子

逻辑信号是一种二值信号，信号的值是离散(不连续)的。图 1-2 是逻辑信号的一个例子。图中示意的是一个计数装置，光电转换器依据光源发出的光是否被物体遮挡输出电信号 v_o，受光照射时输出高电平，光被遮挡时输出低电平。观察者可以依据信号中出现过多少次低电平，得知有多少个物体通过传送带。

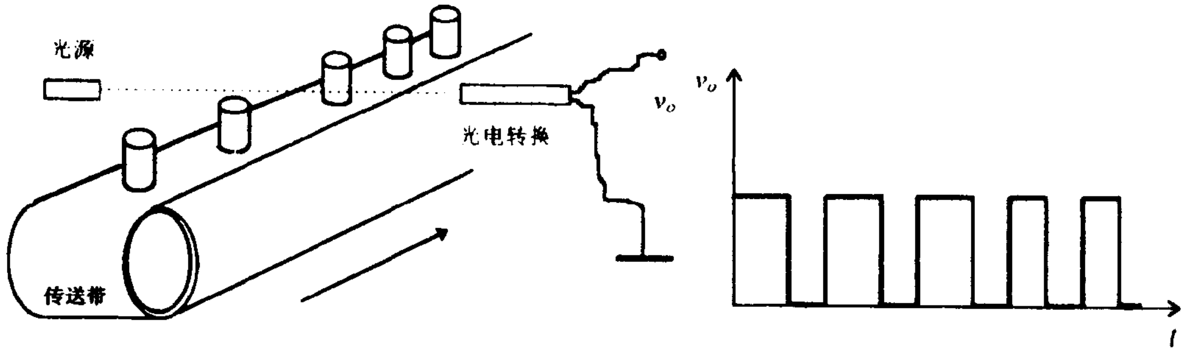


图 1-2　逻辑信号的例子

对这种信号，信号的值只有两个：低和高，其他值不会(也不允许)出现。观察者关心的只是其中有多少次低电平，只要能方便地区分高低电平，至于高电平的值是大一点或小一点，低电平的值是否为0，对观察者都无实际意义。数字电路中常把高电平记为1，低电平记为0，因此这样的信号也称作0-1信号。

数字电子技术要讨论的就是对这种0-1信号进行处理的理论、方法以及电路。

(在时间和取值上都离散的信号叫做数字信号，数字信号与模拟信号是并列概念。数字信号包含着逻辑信号，或者说，逻辑信号是一种特殊的数字信号。对数字信号的详细描述和处理由《数字信号处理》课程讨论。但在处理数字信号时，一般都是先把数字信号转化成逻辑信号，再用数字电子技术进行处理。)

由于数字电子技术是专门处理逻辑信号的，所以有时又把它称作逻辑电路，或者数字逻辑电路。

从电子技术的发展角度看，首先出现的是模拟电子技术，在模拟电子技术取得相当应用的基础上，才出现了专门处理逻辑信号的数字电子技术。数字电子技术一出现，就以其可靠性好、精度高、易于实现复杂运算等优点，得到飞速的发展和广泛的应用，现代的许多电子装置，都是先把模拟信号转化成逻辑信号，再依靠数字电子技术来实现其功能。数字电子技术已成为当今自控、电气、计算机、以及通讯等电类专业的必备专业基础。电子数字计算机的出现，一方面是数字电子技术成功应用的一个典型例子；另一方面，将数字电子技术的应用带入更加广泛的领域，进一步推动着数字电子技术的发展。

1.1.2 数字电子技术的核心内容

逻辑代数基础知识：逻辑代数又称布尔代数，是分析和处理逻辑信号和电路的数学工具，是数字电子技术的理论基础。无论对逻辑信号或电路的表达、讨论、分析或设计，都离不开逻辑代数。本教程将在第一章中对其进行论述。

组合逻辑电路：组合逻辑电路简称组合电路，其特点是电路当时的输出完全被电路当时的输入所决定，它常以具有各种逻辑功能的单元电路的形式出现在数字电子系统中。详细论述见本教程第三章。

时序逻辑电路：时序逻辑电路简称时序电路，其特点是电路带有反馈，从而使电路当时的输出不仅与电路当时的输入有关，同时还与输入的历史情况有关。对时序电路的讨论要用到组合电路的知识，详细论述见本教程第五章。

1.1.3 数字电子技术的数学工具

在模拟电子技术中，要处理的是连续的模拟信号，所以采用了如微分方程、拉氏变换这类表达连续量及其关系的数学工具。在数字电子技术中，要处理的是0-1形式的二值逻辑量，所以无法使用表达连续量及其关系的数学工具，而必须采用一种新的、表达0-1形式的逻辑量及其关系的数学工具。这种新的数学工具就是本章要讨论的主要内容——逻辑代数。

在本章中，先介绍怎样用逻辑量来表示数字——数制与码制；然后依次讨论：逻辑量的物理含义、逻辑关系及其表达——逻辑关系与逻辑表达式；逻辑关系的内在规律——逻辑代数的规则与公式；逻辑量变化时的相互依赖关系——逻辑函数及其表达方法；以及在

逻辑电路的设计中具有实际意义的逻辑函数的化简问题等。

1.2 数制与码制

数制与码制分别是计数制与编码制的简称，它们都是人们创造的表示不同大小的数字的方法。我们已十分习惯于使用像125，98.6这样的符号表示的数，在这里使用的实际上是一种被称为十进制的表达数字的方法。我们在日常生活中使用这种方法表示数字几乎没有什么不方便。可是在数字电路中，由于受到电子元件和线路的限制，电路最易区分0或1两种符号，不易直接接受3，4，…，9这些符号，所以通常不直接采用十进制的方法表示数字，而用其他表示数字的方法。为讨论这些表示数字的方法，先从十进制说起。

1.2.1 几种常用的计数制

1. 十进制

十进制是十进位计数制的简称，它是用0，1，2，…，9这10个符号(又称数码)的不同组合来表示不同的数，即任何一个数都可以用十进位计数制中的这10个符号按一定的规律组合排列起来表示。计数制中的制，即是规律的意思。在十进位计数制中，其组合排列的规律为“逢十进一”(或借一当十)。

例如一个十进制数364，可以写成$(364)_{10}$，或写成$(364)_D$(右下角上的10或D是表示这个数为十进制数，D来自于Decimal，以示区别于下面将要介绍的其他计数制)。这三个数码在数中的不同位置，具有不同的含义：3在百位，表示300；6在十位，表示60；4在个位，表示4。所以十进制数$(364)_{10}$又可由下式表示为：

$$(364)_{10}=3\times10^2+6\times10^1+4\times10^0$$

式中，10被称为底数(或为基数)；10^2，10^1，10^0分别被称为“位权”；3，6，4分别被称为各个位权上的系数。

上式称为十进位计数制的幂级数展开式。任何一个十进制数，都可以用其幂级数的形式来表示。例如，$(5\ 555)_D$可写为：

$$(5\ 555)_D=5\times10^3+5\times10^2+5\times10^1+5\times10^0$$

由此可见，同一个系数数码5，由于所处的位置(10^3，10^2，10^1，10^0)不同，它所表示的数值大小也不同，其数值为系数和位权的乘积。例如10^3上的5，其值为$5\times10^3=5\ 000$；其余的均可类推。

一个任意的十进制整数N，可用下列通式表示：

$$\begin{aligned}(N)_{10}&=(a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0)_{10}\\&=a_{n-1}\times10^{n-1}+a_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots+a_1\times10^1+a_0\times10^0\\&=\sum_{i=0}^{n-1}a_i\times10^i\end{aligned}$$

式中，a_i为系数，其值可以为0，1，2，…，9；n为十进制数的位数；10^i为十进制数第i位的“位权”。

带小数的十进制数和负数的十进制数，亦可按上述方法进行讨论，这里不再赘述。

2. 二进制

二进制是二进位计数制的简称，它具有运算最简单，易于用电路表达等优点，所以成为最基本的，也是数字电路中最常用的一种计数制。二进位计数制仅使用两个符号：0 和 1，它就用这两个符号的不同组合来表示一个数。二进位计数制的符号组合规律与十进制相似，不同的是它不是“逢十进一”，而是“逢二进一”（或借一当二）。

例如一个二进制数 1101 可写成$(1101)_2$，或写成$(1101)_B$（右下角上的 2 或 B 是表示这个数为二进制数，B 来自于 Binary，以区别其他计数制）。这个二进制数也可用幂级数的形式表示：

$$(1101)_2=1\times 2^3+1\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0$$

式中，2 被称为底数（或基数）；$2^3,2^2,2^1,2^0$ 分别被称为“位权”；1，1，0，1 分别被称为各位权上的系数。

任意一个整数 N，都可以用二进制表示，并可以用幂级数的形式表示为：

$$\begin{aligned}(N)_2 &= (a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_1a_0)_2 \\ &= a_{n-1}\times 2^{n-1}+a_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+a_1\times 2^1+a_0\times 2^0 \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} a_i\times 2^i\end{aligned}$$

式中，a_i 为系数，其值为 0 或 1；n 为二进制数的位数；2^i 为二进制数第 i 位的“位权”。

利用幂级数表达式很容易算出，二进制数$(1101)_2$ 等于十进制的 13，即$(13)_{10}$，所以数 13 的二进制表示形式为$(1101)_2$；同理，二进制数$(11010)_2$ 等于十进制的 26，即$(26)_{10}$，所以数 26 的二进制表示形式为$(11010)_2$。

将 0，1，2，…，15 这 16 个数字，逐一用二进制表示，可以得到表 1-1 中的第 2 列。

表 1-1　十-二-八-十六进制对照表

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

由表可见，表中的四位二进制数的位权分别为 8，4，2，1，所以有时又称这里的四位二进制数为其对应的十进制数的 8421 码。例如：十进制数 9 的 8421 码为 1001；十进制数 15 的 8421 码为 1111。熟记各 8421 码和它们所对应的十进制数，会对以后的学习带来方便。

3. 八进制和十六进制

除了二进制数以外，在数字电路中有时也会用到八进制数(Octal)和十六进制数(Hexadecimal)。八进制是采用 0，1，2，…，7 这 8 个数码，按"逢八进一"的进位规律组合这 8 个数码来表示不同的数。十六进制则是选用 0，1，2，…，9，A，B，C，D，E，F 这 16 个符号，其中 A 到 F 分别代表十进制的 10 到 15，按"逢十六进一"的进位规律组合这 16 个符号来表示不同的数。用八进制或十六进制表示的数，也有其幂级数表达式，其形式、底数、系数、位权等读者可以自行总结得出。与十进制的 0，1，2，…，15 这 16 个数字分别对应的八进制和十六进制数，列在表 1-1 第 3 列及第 4 列。

在数字电路中有时也会用到八进制数和十六进制数，这并不是说电路能够直接接受八进制数或十六进制数，而是因为：①二进制的底数太小，一个不太大的数就要写成一长串，不便书写和记忆，八进制数和十六进制数的底数相对较大，对数字的表达较简洁，便于书写和记忆；②八进制数和十六进制数与二进制数之间有很简单的转换关系。如二进制数 $(1011001010)_2$，用八进制和十六进制表示分别为：$(1312)_8$ 或 $(1312)_O$ 和 $(2CA)_{16}$ 或 $(2CA)_H$。

1.2.2 不同计数制之间的相互转换

十进制数是人们最熟悉的计数方式，人们很习惯认读十进制并用它做计算。而数字逻辑系统中使用的是二(八或十六)进制，所以有时就需要将二(八或十六)进制表示的数转换为十进制下的数。或者反过来，需要将十进制表示的数转换为二(八或十六)进制下的数。

1. 二、八、十六进制数转换成十进制数

将二(八或十六)进制表示的数转换为十进制数的方法十分简单，只要将一种进制的数，按其幂级数的形式展开计算即可。

例 1.2.1 将① $(11010)_2$，② $(274)_8$ 转换为十进制数。

解：① $(11010)_2=1\times2^4+1\times2^3+1\times2^1=(26)_{10}$

② $(274)_8=2\times8^2+7\times8^1+4\times8^0=(188)_{10}$

2. 十进制数转换成二、八、十六进制数

将十进制表示的数转换为二(八或十六)进制数的方法为"除底取余"法。现以十进制数转换成二进制数为例来说明这一方法。设十进制数为 $(13)_{10}$。

假设已将 $(13)_{10}$ 转化成了二进制数，那么它一定是一串 0 和 1 的组合，一定可写成：

$$(\cdots a_i\cdots a_2a_1a_0)_2$$

其中，…，a_i，…，a_2，a_1，a_0，不是 0 就是 1，按照二进制的幂级形式展开，则有：

$$(\cdots a_i\cdots a_2a_1a_0)_2=\cdots+a_i\times2^i+\cdots+a_2\times2^2+a_1\times2^1+a_0\times2^0$$

所以一定有：

$$(13)_{10} = \cdots + a_i \times 2^i + \cdots + a_2 \times 2^2 + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 \tag{1-1}$$

只要求出了$\cdots, a_i, \cdots, a_2, a_1, a_0$这些系数，就实现了转换。

为了求得$\cdots, a_i, \cdots, a_2, a_1, a_0$，先来看式(1-1)的右边。因为$\cdots, a_i, \cdots, a_2, a_1, a_0$的值只可能为0或1，并且$2^0=1$，因此若将式(1-1)两边连续地整除以底数2，并每次都把除得的余数(不是0就是1)放到一边，等式右边依次得到的余数必然为：$a_0, a_1, a_2, \cdots, a_i, \cdots$。除到商为0时，若继续除下去余数将一直为0，同十进制数一样，一个二进制数前加若干个0不影响该数的大小，因此没有意义。所以当除到商为0时，除法就可以结束了。同一等式两端同时整除以一个数，所得余数必然相等。因此可得$a_0=1, a_1=0, a_2=1, a_3=1$。其过程见下列计算式：

		余数			余数
2	13	1	2	$a_3 \times 2^3 + a_2 \times 2^2 + a_1 \times 2^1 + a_0$	a_0
2	6	0	2	$a_3 \times 2^2 + a_2 \times 2^1 + a_1$	a_1
2	3	1	2	$a_3 \times 2^1 + a_2$	a_2
2	1	1	2	a_3	a_3
	0			0	

同理，将一个十进制数用8或16连续去整除取余，即可将它转换成八进制或十六进制数。也有人采用先把十进制数转换成二进制数，再利用二进制与八进制和十六进制的简单对应关系，来完成十进制数到八进制或十六进制数的转换。

注意：应用"除底取余"法时，一定要除到商等于0为止，而且所得余数应从下(高位)向上(低位)排列，切莫颠倒。即"除底取余除到0，由下向上是结果"。

例 1.2.2 将$(25)_{10}$转换为二进制数。

解：

		余数
2	25	1 ↑
2	12	0
2	6	0
2	3	1
2	1	1
	0	

故

$$(25)_{10} = (11001)_2$$

1.2.3 几种常用的编码制

编码制是数字电路中使用的又一种表示数字的方法。编码制也是用符号0,1的组合来表示数字。先把十进制的0,1,…,9这10个数码，分别用不同的0和1的组合表示，建立数码与0,1组合的一一对应关系，并称与9对应的0,1组合为9的代码，与8对应的0,

1 组合为 8 的代码，…（余类推）；然后再把十进制数的每一位，分别用该位数码的代码代替，来表示一个数。例如可以先规定：8421 码中的 0000 到 1001 这 10 个码，分别表示 0 到 9 这 10 个数码。这样就建立了由二进制符号 0 和 1 的一组组合，与十进制符号 0 到 9 的一种对应。利用这种对应，就可以表示任何数字。比如要表示 972，9 对应的码是 1001，7 对应的码是 0111，2 对应的码是 0010，则 100101110010 就是对 972 的 8421 码表示。若要表示 5，用 0101 即可。

这种建立对应关系的过程叫做编码，对应中所使用的规律就是“制”的含义。按不同的规律进行对应，就形成了不同的编码制。由于我们是在用二进制符号（0 和 1）对十进制符号（0 到 9）进行编码，编出来的码被称作二-十进制码，又叫 BCD 码（Binary Coded Decimal）。在此仅讨论 BCD 码。

四位二进制符号可以有 16 种不同组合（2^4），从这 16 种不同组合中任选 10 种出来有多种不同的选法（C_{16}^{10}种），把选出来的 10 种组合与十进制的 10 个符号相对应又有多种不同的对应法（10！种），所以用四位二进制符号组成的 BCD 码就可以有很多种（$10! \times C_{16}^{10}$种）。在这很多种不同的编码制中，绝大多数没有实用价值，常用的仅有几种，分别介绍如下。

1. 8421BCD 码

8421BCD 码是用 0000，0001，…，1001 分别表示 0，1，…，9 这 10 个符号。其特点是每个代码的二进制数值，正好等于其所代表的十进制符号的数码值，二进制代码的位权正好依次也是 8421，对应规律非常好记。应注意的是：区别 8421BCD 码与 8421 码。然而在不至混淆的情况下，人们常将 8421BCD 码简称为 8421 码。

表 1-2 和表 1-3 中分别依代码和符号为顺序，列出了代码与符号的对应规律。

表 1-2　四位二进制码与常用 BCD 码对照表

二进制码	常用 BCD 码对应的十进制符号		
DCBA	8421BCD 码	余 3BCD 码	格雷 BCD 码
0000	0	×	0
0001	1	×	1
0010	2	×	3
0011	3	0	2
0100	4	1	×
0101	5	2	×
0110	6	3	4
0111	7	4	×
1000	8	5	9
1001	9	6	8
1010	×	7	6
1011	×	8	7
1100	×	9	×
1101	×	×	×
1110	×	×	5
1111	×	×	×

表 1-3　常用BCD码的四位二进制码

十进制符号	8421BCD码	余3BCD码	格雷BCD码
0	0000	0011	0000
1	0001	0100	0001
2	0010	0101	0011
3	0011	0110	0010
4	0100	0111	0110
5	0101	1000	1110
6	0110	1001	1010
7	0111	1010	1011
8	1000	1011	1001
9	1001	1100	1000

2. 余 3 BCD 码

余 3 BCD 码简称余 3 码，它是用 0011,0100,…,1100 分别表示 0,1,…,9 这 10 个符号，见表 1-2 和表 1-3。其特点是每个代码的二进制数值，比其所代表的十进制符号的数码值多 3；而且符号 0 的代码与 9 的代码正好逐位 0,1 相反，符号 1 的代码与 8 的代码正好逐位 0,1 相反，…，符号 4 的代码与 5 的代码正好逐位 0,1 相反。这有利于进行补码和反码运算。

3. 格雷 BCD 码

格雷 BCD 码简称格雷码，其代码与符号对应的规律见表 1-2 和表 1-3。它的特点是每对相邻的符号(包括 0 和 9)所对应代码的四位二进制码之中，只有一位不同。通过以后的学习可以知道，这种码有利于提高电路的可靠性和速度。

在 BCD 编码中，未被使用的各四位二进制组合(在表 1-2 中用×表示)，都被称为禁用码。

除了上述三种码外，在数字电路中有时也会用到其他 BCD 码制。如：2421 码、5421 码、余 3 格雷码等，不过用得较少。感兴趣的读者可参阅有关书籍。

通过上面的讨论可知，无论数制还是码制，都是设法利用 0,1 的组合来表示数字，而且都可以被看成是从十进制引申而来。计数制引用了十进制的内核——进位，用改变进位来表示数字；编码制改造了十进制的外形——符号，以代码替换符号来表示数字。

1.3　逻辑关系与逻辑表达式

逻辑代数和普通代数一样，说关系前必须先要知道关系的“主体”或关系的“荷载者”，讲表达式前必须先明白表达所用的“内容”和被表达的“对象”。例如在普通代数中的关系 A+B 中，关系的“主体”或“荷载者”就是 A 和 B；表达式 C=A+B 中，“内容”和“对象”就是 A、B 和 C；这里的 A，B 和 C 叫做代数量。即关系是量与量之间的关系，表达式是用一些量来表达其他的量。类似地，逻辑代数中也有这样的“主体”、“荷载者”、“内容”和“对象”，它们叫做逻辑量。