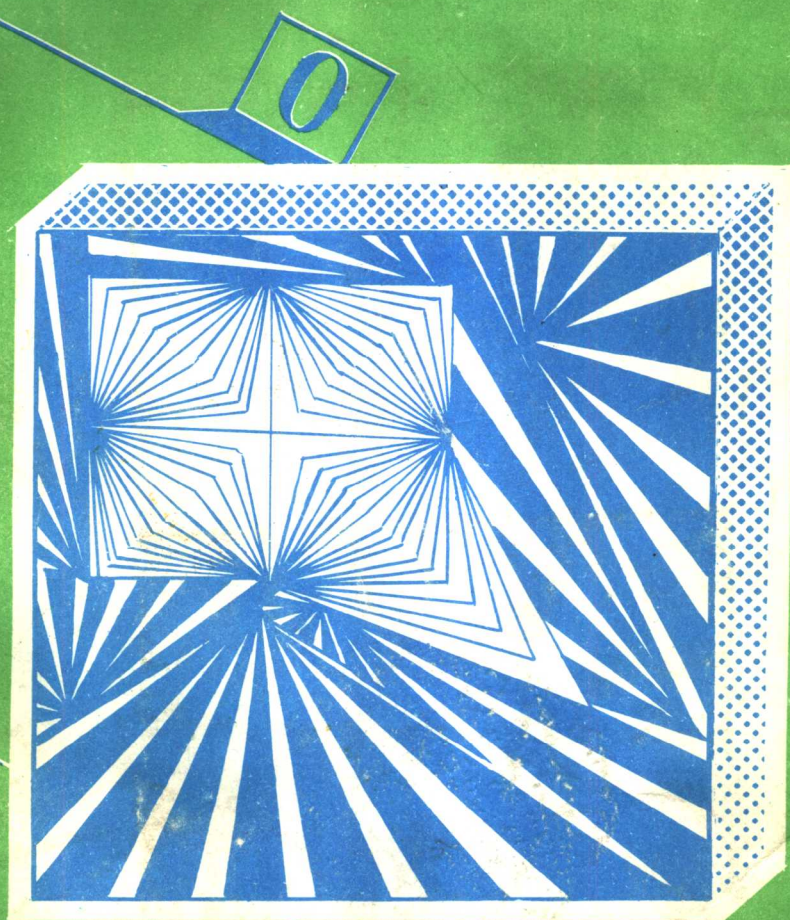


数字逻辑电路基础

唐泽荷 段军政 王应勋



西安交通大学出版社

数字逻辑电路基础

唐泽荷 段军政 王应勋

西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书是西安交通大学电子学教研室为适应高等专科学校、成人教育学校、职大、夜大等电类各专业数字电子技术基础课程教学需要而编写的。书中系统地介绍了数字逻辑电路的基本概念,基本组成单元,基本分析和设计方法及典型的中、大规模数字集成芯片和应用。全书包含数字电路基本知识、逻辑门电路、逻辑代数基础及逻辑函数化简、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生及整形、A/D 及 D/A 转换器等有关数字逻辑电路的必备知识。

本书可作各高等专科学校及成人教育、职大、夜大电类各专业教材,也可作高等院校电类各专业少学时教材和学习数字电子技术基础的自学教材。此外,本书还可供从事数字电子技术工作的工程技术人员参考。

(陕)新登字 007 号

数字逻辑电路基础

唐泽荷 段军政 王应勋

责任编辑 甘梦云

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码 710049)

陕西省轻工业厅印刷厂印刷

陕西省新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 17.875 字数:429 千字

1994 年 8 月第 1 版 1994 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—3000

ISBN7-5605-0654-2/TN·40 定价:15.00 元

前 言

《数字逻辑电路基础》一书是根据西安交通大学成人教育学院对数字电子技术基础课程的教学要求,在沈尚贤教授、何金茂教授的关心指导下编写的。该书与《模拟电子学》配套,适用于职大、夜大、自学考试等成人教育学院电类各专业,同时也可作为高等院校电类各专业少学时教材。

本书的编写原则是:保证基础、精选内容、联系实际、利于自学。为此、在保证基本内容要求的前提下,力求概念叙述清晰明了,注重培养学生的自学能力和解决实际问题的能力,重在应用。同时考虑到现代电子技术的飞速发展,适当引入了新技术、新内容和应用实例。

全书以中小规模集成电路为主,适当引入大规模集成组件和其应用,删去了分立元件电路。各章前有内容提要,后有小结,并配有大量的例题。此外,在本书的最后附有一定数量的思考题和习题,以利读者自学。

本书由唐泽荷统编。第1,2,5章及7.5,8.6节由段军政编写,第3,4,8章由唐泽荷编写,第6,7章由王应勋编写。

本教材在编写过程中,得到西安交通大学电子学教研室全体同志的帮助和支持,在此深表感谢。由于我们水平有限,书中存在的错误和不妥之处,谨请读者批评指正。

编者 1993年12月

目 录

第1章 数字电路的基本知识

1.1 数字电路的基本概念	(1)
1.1.1 模拟量与数字量	(1)
1.1.2 数字信号的特点及脉冲参数	(1)
1.1.3 数字电路研究的对象及方法	(2)
1.1.4 数字系统概述	(2)
1.1.5 数字电路的优点及应用概述	(3)
1.2 数制与码制	(4)
1.2.1 数制	(4)
1.2.2 数制转换	(6)
1.2.3 码制	(8)
1.3 半导体二极管的开关特性	(12)
1.3.1 二极管的静态开关特性	(12)
1.3.2 二极管的动态开关特性	(13)
1.3.3 二极管的开关参数	(14)
1.3.4 开关二极管的应用	(14)
1.4 半导体三极管的开关特性	(16)
1.4.1 三极管的静态开关特性	(16)
1.4.2 三极管的动态开关特性	(18)
1.4.3 三极管的动态波形及开关时间	(19)
1.4.4 三极管开关的主要参数	(20)
1.5 MOS管的开关特性	(20)
1.5.1 MOS管的静态开关特性	(21)
1.5.2 MOS管的动态开关特性	(21)
1.5.3 MOS管的开关参数	(22)
1.6 基本逻辑和基本逻辑门电路	(23)
1.6.1 逻辑的基本概念	(23)
1.6.2 与逻辑和与门电路	(24)
1.6.3 或逻辑和或门电路	(25)
1.6.4 非逻辑和非门电路	(27)

本章小结

第2章 集成逻辑门电路

2.1 概 述	(31)
2.2 TTL 与非门	(32)
2.2.1 TTL 与非门的工作原理	(32)

2.2.2	TTL 与非门的电气特性	(34)
2.2.3	TTL 与非门的参数及其测试电路	(41)
2.3	其他 TTL 门电路	(46)
2.3.1	集电极开路 TTL 门	(46)
2.3.2	三态输出 TTL 门	(49)
2.3.3	TTL 门电路的功能扩展	(51)
2.4	TTL 门电路的改进	(56)
2.4.1	CT2000 系列	(57)
2.4.2	CT3000 系列	(57)
2.4.3	CT4000 系列	(59)
2.5	MOS 集成逻辑门	(60)
2.5.1	NMOS 反相器及逻辑门	(60)
2.5.2	CMOS 反相器及逻辑门	(67)
2.5.3	CMOS 传输门和模拟开关	(72)
2.6	集成逻辑门的使用	(74)
2.6.1	各种集成逻辑门的性能比较	(74)
2.6.2	TTL 与 CMOS 电路的接口	(76)
2.6.3	集成逻辑门使用中的几个实际问题	(79)
本章小结		

第3章 逻辑代数基础及逻辑函数化简

3.1	概述	(84)
3.2	逻辑代数的基本运算、基本公式和定理	(84)
3.2.1	基本逻辑运算	(84)
3.2.2	逻辑代数的基本公式和定理	(86)
3.3	逻辑函数的建立及其表示法	(89)
3.3.1	逻辑函数的建立	(89)
3.3.2	逻辑函数的表示方法	(90)
3.3.3	逻辑函数的最小项和最大项及其标准式	(91)
3.4	逻辑函数的化简	(94)
3.4.1	代数化简法	(94)
3.4.2	卡诺图化简法	(95)
3.4.3	多输出变量逻辑函数的化简	(99)
3.4.4	具有无关项逻辑函数的化简	(101)
3.5	最简与或表达式及其转换	(102)
3.5.1	与或表达式转换为与非与非表达式	(102)
3.5.2	与或表达式转换为或非或非表达式	(103)
3.5.3	与或表达式转换为与或非表达式	(103)
本章小结		

第4章 组合逻辑电路

4.1 概述	(105)
4.2 组合逻辑电路的一般分析和设计方法	(106)
4.2.1 分析方法	(106)
4.2.2 设计方法	(108)
4.3 常用中规模集成组合逻辑电路(MSI)	(109)
4.3.1 编码器	(109)
4.3.2 译码器	(113)
4.3.3 多路选择器和多路分配器	(120)
4.4 常用中规模运算组合逻辑电路	(122)
4.4.1 加法器	(122)
4.4.2 数码比较器	(125)
4.5 中规模集成组合逻辑电路的其他应用与设计	(127)
4.5.1 逻辑函数的实现	(127)
4.5.2 序列脉冲的产生	(129)
4.5.3 代码的转换	(130)
4.6 组合逻辑电路中的竞争冒险	(130)
4.6.1 竞争冒险现象产生的原因	(131)
4.6.2 竞争冒险现象消除的方法	(131)
4.7 大规模集成组合逻辑电路	(132)
4.7.1 只读存储器	(132)
4.7.2 可编程逻辑阵列	(135)
本章小结	

第5章 触发器

5.1 概述	(138)
5.2 基本 RS 触发器	(138)
5.2.1 电路结构及工作原理	(138)
5.2.2 逻辑功能	(139)
5.2.3 用或非门组成基本 RS 触发器	(141)
5.3 同步式时钟触发器	(142)
5.3.1 同步式 RS 触发器	(142)
5.3.2 同步式 D 触发器(D 锁存器)	(143)
5.3.3 同步式 JK 触发器	(144)
5.3.4 同步式 T 触发器	(145)
5.3.5 同步式触发器的空翻	(145)
5.4 无空翻的时钟触发器	(146)
5.4.1 主从结构触发器	(146)

5.4.2 维持-阻塞触发器	(151)
5.4.3 边沿触发器	(153)
5.5 CMOS 触发器	(155)
5.6 触发器逻辑功能的转换	(156)
5.6.1 D 触发器转换为其他逻辑功能的触发器	(156)
5.6.2 JK 触发器转换为其他逻辑功能的触发器	(157)
5.7 触发器的脉冲工作特性	(158)
5.7.1 主从触发器的脉冲工作特性	(159)
5.7.2 维持-阻塞触发器的脉冲工作特性	(160)
本章小结	

第6章 时序逻辑电路

6.1 概述	(162)
6.1.1 时序逻辑电路的组成与描述方法	(162)
6.1.2 时序逻辑电路的分析方法	(164)
6.1.3 时序逻辑电路的设计思路	(169)
6.2 计数器	(169)
6.2.1 计数器的基本概念	(170)
6.2.2 二进制计数器(模 2^n 计数器)	(171)
6.2.3 任意进制计数器	(174)
6.2.4 中规模集成计数器	(181)
6.3 寄存器	(187)
6.3.1 基本寄存器	(187)
6.3.2 移位寄存器	(188)
6.4 顺序脉冲发生器	(193)
6.4.1 计数器型顺序脉冲发生器	(193)
6.4.2 移位寄存器型顺序脉冲发生器	(194)
本章小结	

第7章 脉冲信号的产生和变换

7.1 概述	(197)
7.2 多谐振荡器	(198)
7.2.1 环形多谐振荡器	(198)
7.2.2 对称形多谐振荡器	(200)
7.2.3 非对称形多谐振荡器	(202)
7.2.4 石英晶体振荡器	(203)
7.3 单稳态触发器	(203)
7.3.1 门电路组成的单稳态触发器	(204)
7.3.2 集成单稳态触发器	(206)
7.3.2 单稳态触发器的应用	(208)

7.4 施密特触发器	(210)
7.4.1 门电路组成的施密特触发器	(211)
7.4.2 集成施密特触发器	(214)
7.4.3 施密特触发器的典型应用	(215)
7.5 通用时基集成电路 555	(217)
7.5.1 555 电路结构及主要参数	(217)
7.5.2 5G555 型定时器典型应用电路	(218)
7.5.3 由 5G555 组成的其它应用电路	(222)
本章小结	

第 8 章 模拟量和数字量的转换及应用

8.1 概述	(227)
8.2 D/A 转换原理	(228)
8.3 DAC0832 集成芯片及应用	(229)
8.3.1 组成结构	(229)
8.3.2 引脚功能	(230)
8.3.3 三种工作方式的连接与应用	(231)
8.3.4 DAC 转换的主要技术指标	(233)
8.4 A/D 转换原理	(233)
8.4.1 并行比较式	(234)
8.4.2 逐位比较式	(235)
8.4.3 双积分式	(236)
8.5 ADC0809 集成芯片及应用	(237)
8.5.1 组成结构	(237)
8.5.2 引脚功能	(239)
8.5.3 连接与应用	(240)
8.6 数字电压表	(240)
本章小结	
思考题和习题	(246)
参考文献	(275)

第 1 章 数字电路的基本知识

内 容 提 要

本章首先从数字量与模拟量对比的角度出发,简要介绍数字电路的基本概念及数字系统的基本组成;接着介绍数制及其转换、数字系统中常用的码制;作为数字电路的基础,本章还介绍了二极管、双极型晶体三极管和 MOS 管的开关特性;最后介绍与、或、非三种基本逻辑关系及其对应的门电路。

1.1 数字电路的基本概念

1.1.1 模拟量与数字量

自然界中有各种各样的物理量,无论它们的性质多么不同,就其变化规律和特点而言,可将它们分为两大类:模拟量和数字量。

(1) 模拟量:其特点是量值的大小随时间连续变化,如图 1.1.1(a)所示。加工和处理这类信号的电路称为模拟电路。研究和分析模拟信号电子线路理论称为模拟电子学。

(2) 数字量:其特点是量值是离散的、突变的,如图 1.1.1(b)所示。加工和处理这类信号的电路称为数字电路。研究和分析数字信号电子线路理论称为数字电子学。

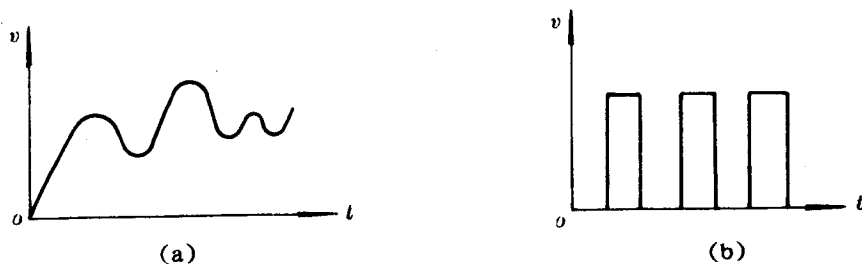


图 1.1.1 模拟信号和数字信号

(a) 模拟信号;

(b) 数字信号

1.1.2 数字信号的特点及脉冲参数

在数字电路中,加工和处理的信号都是脉冲信号,也即数字信号(数字量)。从广义上讲,一切非正弦信号通称为脉冲信号。常见脉冲信号的波形如图 1.1.2 所示。无论它们的形状多么不同,但其共同点是量值是突变的,而且是不连续的,即有时有时无的,或者说时高时低的。

数字电路中主要应用的是方波和矩形波。下面以方波为例,简要介绍有关脉冲波形的主要参数,参见图 1.1.3。

(1) 脉冲幅度 V_m : 脉冲电压的最大值。

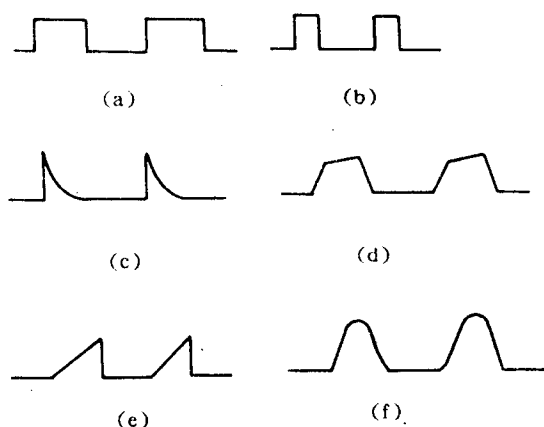


图 1.1.2 常见的脉冲波形
(a)方波；(b)矩形波；(c)尖脉冲；
(d)梯形波；(e)锯齿波；(f)钟形波

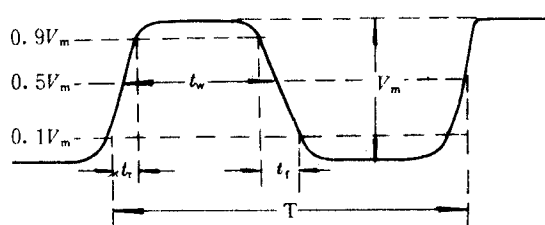


图 1.1.3 脉冲波形参数

(2) 脉冲宽度 t_w : 从前沿的 $0.5V_m$ 到后沿的 $0.5V_m$ 之间的时间, 又称脉冲持续时间。

(3) 上升时间 t_r : 脉冲前沿从 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 所需的时间。

(4) 下降时间 t_f : 脉冲后沿从 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 所需的时间。

(5) 脉冲周期 T : 周期性脉冲信号重复出现的时间间隔。其单位为秒(s)、毫秒(ms)、微秒(μs)、纳秒(ns)。

(6) 脉冲重复频率 f : 每秒钟内脉冲出现的次数。单位为赫兹(Hz)、千赫(kHz)、兆赫(MHz)。

1.1.3 数字电路研究的对象及方法

1. 数字电路研究的主要对象

在研究数字电路的各基本单元电路和基本模块电路时, 采用的输入信号为数字信号, 得到的输出信号也为数字信号, 输入与输出之间为一一对应的关系。因而, 数字电路研究的主要对象是输入与输出之间的逻辑关系, 也即电路的逻辑功能。

2. 研究方法

研究数字电路的主要方法是逻辑分析和逻辑设计的方法。分析和设计数字电路的基本工具是真值表、卡诺图(真值图)、逻辑函数式、逻辑图和状态转换图。其中的数学基础是逻辑代数——布尔代数。

3. 学习侧重点

数字电路是开关电路, 也是逻辑电路。电路组成结构、电路中各元器件的工作状态、研究对象及处理方法等均与模拟电路不同。学习数字电路时, 应侧重于基本单元电路和基本数字模块的外部特性, 即电路的逻辑功能。

1.1.4 数字系统概述

将若干不同功能的基本数字模块有机地组合在一起, 构成完成某一特定任务的电路, 这些数字电路称为数字系统。显然, 一台数字设备就是一个数字系统。

为了对数字系统有一个初步的认识。这里以数字转速表为例, 简要介绍数字系统的大致结构形式。

图 1.1.4 所示为数字转速表的结构框图。转动体上有一黑色环, 中间有白色亮点(定标记号), 光源发出的光经其反射后, 照射光电管, 光电管将光转变为电信号。当转动体每转一周时, 光电管接受一次光电信号, 并产生一个电脉冲。此电脉冲经放大整形变为与光电管输出脉冲同频率的矩形脉冲信号(数字信号), 送至门电路的一个输入端。门电路的开门和关门时间受脉冲发生器控制。分脉冲将门打开 1min, 此期间, 矩形脉冲通过门电路进入计数器, 计数器累计的

脉冲个数就是转动体 1min 内所转圈数也即转速。计数器中的数值再经寄存、译码,最后通过显示器直接显示出来。

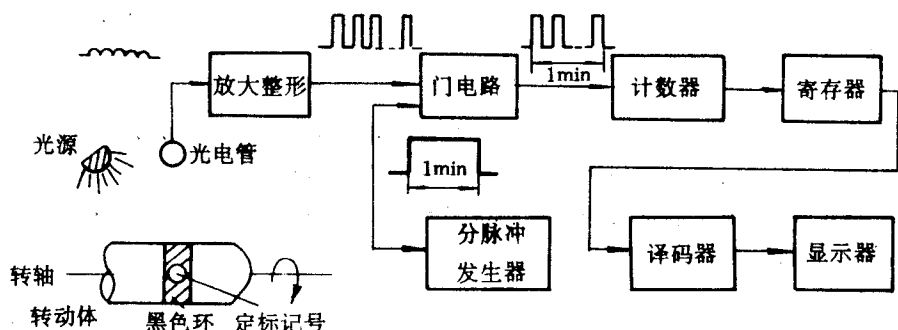


图 1.1.4 数字转速表示意图

在上述简单的例子中,已涉及到脉冲信号的放大整形,脉冲信号的发生、控制、计数、寄存、译码、显示等典型的数字单元电路。数字电路包含的内容是广泛的,本书除主要研究上述各种基本单元电路外,还将介绍常用的数字部件,如存储器、数/模和模/数转换器等。

1.1.5 数字电路的优点及应用概述

近十几年间,随着计算机技术的普及,数字电子技术在我国获得飞速的发展。特别是随着集成电路的发展,尤其是中、大规模和超大规模集成电路的发展,更加速了数字技术的发展,对各类电子系统的设计,制造和应用都产生了深远的影响。许多传统的模拟系统已被或逐渐被性能更为优越的数字系统所替代。目前,市场上数字集成电路产品已占整个集成电路产品的 80% 以上。

1. 数字电路的优点

- (1) 数字电路结构简单、容易制造,便于集成、系列化生产,因而成本低、价格廉。
- (2) 数字集成电路产品系列多、品种全、便于应用。
- (3) 由基本数字模块组成的数字系统可靠性高、精度高、稳定性好、便于维护。
- (4) 数字电路不仅能完成数值运算,而且还能进行逻辑运算与判断等。

2. 数字电路的应用

目前,数字电路在通信、电子计算机、自动控制、电子测量仪器等方面已得到广泛的应用。

(1) 数字通讯。用数字电路构成的数字通讯系统与传统的模拟通讯系统比较,不仅抗干扰能力强、保密性能好、适于多路远程传输,而且还能应用计算机进行信息处理和控制,实现以计算机为中心的自动交换通讯网。

(2) 电子计算机。以数字电路构成的数字计算机处理信息能力强、运算速度快、工作稳定可靠,便于参与过程控制。

(3) 自动控制。数字电路构成的自动控制系统具有快速、灵敏、精确等特点。如数控机床、电厂参数的远距离测控、卫星测控等。

(4) 电子测量仪器。用数字电路构成的测量器与模拟测量仪器比较,不仅测量精度高、测试功能强、而且便于进行数据处理,实现测量自动化、智能化。

以上仅概括说明了数字电路的一些应用。实际上,数字电路的应用是广泛的。随着数字电

路应用领域的扩大,数字电子技术将更深入地渗透到国民经济各个部门中去,并产生愈来愈深刻的影响。因此,数字电子技术是现代电子工程技术人员必须掌握的一门技术基础知识。

1.2 数制与码制

数字电路中,经常会遇到数字量的计算问题。在日常生活中,人们习惯于用十进制数,但数字系统和计算机中常用二进制数和十六进制数。本节将介绍数制及其转换。

此外,根据实际需要,人们把二进制数码按某种规律排列、组合,以表示更多的对象。本节还将介绍常用的几种码制。

1.2.1 数制

1. 十进制

十进制是以10为基数^①(底数)的计数体制。在十进制中,用0,1,2,...,9十个数符表示数,超过9的数要以多位数表示。其计数规律是“逢十进一”。

例如

$$(8964)_{10} = 8 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 4 \times 10^0$$

一个具有 m 位整数和 n 位小数的十进制数,可以用一般表达式表示为

$$\begin{aligned} N_D \text{ ②} &= k_{m-1}10^{m-1} + k_{m-2}10^{m-2} + \cdots + k_210^2 + k_110^1 \\ &\quad + k_010^0 + k_{-1}10^{-1} + k_{-2}10^{-2} + \cdots + k_{-n}10^{-n} \\ &= \sum k_i 10^i \end{aligned} \quad (1.2.1)$$

其中 k_i 为第 i 位的系数,可为十进制数0~9中的任何一个。 $10^{m-1}, 10^{m-2}, \dots, 10^2, 10^1, 10^0, 10^{-1}, 10^{-2}, \dots, 10^{-n}$ 分别是为各位对应的权。

对于任意进制数,若将式(1.2.1)中的 k_i 看作第 i 位的系数,基数10用 B ^③来替代,且 B^i 为第 i 位的权,则可得到任意进制数展开式的普遍形式

$$N = \sum k_i B^i \quad (1.2.2)$$

若任意进制数具有 m 位整数和 n 位小数,则 i 应包含从 $m-1$ 到0的所有正整数和从-1到 $-n$ 的所有负整数。

十进制若用电路来实现,就需要有十个状态与之对应。实际上这是不可能的,也没有必要这样做。目前在数字电路中多采用二进制。

2. 二进制

二进制是以2为基数的计数体制。在二进制中,用0和1两个数字符号来表示数。超过1的数要以多位数表示。其计数规律是“逢二进一”。

根据式(1.2.2),任一个二进制数按权展开为

$$N_B \text{ ④} = \sum K_i \times 2^i \quad (1.2.3)$$

例 1.2.1 将二进制数 11011110 转换为十进制数。

解

① 基数是指各进制中基本字符的个数;

② N_D 中, D 系 Decimal 的缩写;

③ B 系 Base 的缩写;

④ N_B 中 B 系 Binary 的缩写。

$$\begin{aligned}
 (11011110)_B &= (1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 \\
 &\quad + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0)_D \\
 &= (128 + 64 + 0 + 16 + 8 + 4 + 2 + 0)_D \\
 &= (222)_D
 \end{aligned}$$

二进制数的优点是简单,且易于用电路来实现,因而在数字系统中获得了广泛应用。但其缺点是在表示较大的数时,位数较多、较复杂。为了简化二进制数的书写方式,人们在实践中又发展了八进制和十六进制。下面分别对这两种数制进行介绍。

3. 八进制

八进制是以 8 为基数的计数体制。在八进制中,用 0,1,2,...,7 八个数字符号表示数,超过 7 的数要以多位数表示。其计数规律为“逢八进一”。

根据式(1.2.2),任一个八进制数可按权展开为

$$N_O^{①} = \sum k_i \times 8^i \quad (1.2.4)$$

任何一个八进制数,都可以用式(1.2.4)转换为十进制数,且系数只有 0~7 八个数字符号。

表 1.2.1 常用数制对照表

十进制数(D)	二进制数(B)	八进制数(O)	十六进制数(H)
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

例 1.2.2 将八进制数 336 转换成十进制数

解

$$(336)_O = (3 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 6 \times 8^0)_D = (192 + 24 + 6)_D = (222)_D$$

用八进制数表示十进制数要比用二进制数简单,而且八进制数和二进制数之间具有简单的变换关系,因此,有些计算机中也用八进制数来表示二进制数。

4. 十六进制

十六进制是以 16 为基数的计数体制。在十六进制中,除用 0~9 这十个数字符号表示数

① O 系 Octal 的缩写。

外,还要创造六个特殊的符号来表示数。常见符号列于表 1.2.1 中,即用 A 代表 $(10)_D$,用 B 代表 $(11)_D$,...,用 F 代表 $(15)_D$ 。超过 $(15)_D$ 的数要以多位数表示。其计数规律是“逢十六进一”。

根据式(1.2.2),任一个十六进制数,可按权展开为

$$N_H \text{ ①} = \sum k_i \times 16^i \quad (1.2.5)$$

任何一个十六进制数都可用式(1.2.5)转换成十进制数,系数 K_i 可为十六进制数字符号 $0 \sim 9, A \sim F$ 中的任一个。

例 1.2.3 将十六进制数 DE 转换成十进制数。

解

$$\begin{aligned} (DE)_H &= (D \times 16^1 + E \times 16^0)_D = (13 \times 16 + 14 \times 16^0)_D \\ &= (208 + 14)_D = (222)_D \end{aligned}$$

表示同一个十进制数,用十六进制所得的结果要比二进制简单得多,而且十六进制与二进制之间存在着极为简单的互换关系。因而十六进制在计算机的输入、输出信息方面得到了广泛的应用。

数字系统通常只能识别二进制数,而人们又习惯于十进制数。因而,需要把十进制数转换成二进制数,才能送入系统中进行运算和处理;同时,还要把系统输出结果转换为十进制数以便人们直接读取。下面简要介绍数制之间的转换方法。

1.2.2 数制转换

1.2.2.1 十进制转换为二进制

同一个数既可用十进制表示,又可用二进制表示,因此,它们之间一定存在某种转换关系。对于一个具有 n 位整数和 m 位小数的十进制数

$$N_D = d_{n-1}d_{n-2} \cdots d_1d_0.d_{-1}d_{-2} \cdots d_{-m} \quad (1.2.6)$$

可用二进制的形式来表示。但在不同的数制中,数的位数也将不同。因此,式(1.2.6)可用具有 k 位整数和 l 位小数的二进制数表示为

$$N_B = b_{k-1}b_{k-2} \cdots b_1b_0.b_{-1}b_{-2} \cdots b_{-l} \quad (1.2.7)$$

根据两个有理数相等,则它们的整数和小数部分必定分别相等,因此在进行数制转换时,把整数部分和小数部分分别进行转换,然后合并起来,即为转换结果。

1. 整数部分的转换

根据式(1.2.6)和(1.2.7),整数部分可表示为

$$N_{DI} \text{ ②} = b_{k-1}2^{k-1} + b_{k-2}2^{k-2} + \cdots + b_12^1 + b_02^0 \quad (1.2.8a)$$

将式(1.2.8a)两边同除以二进制的基数 2,得

$$(1/2)N_{DI} = b_{k-1}2^{k-2} + b_{k-2}2^{k-3} + \cdots + b_12^0 + b_0/2 \quad (1.2.8b)$$

由此可知,用 2 去除十进制数,得到余数 b_0 。将式(1.2.8b)中的商再除以 2

$$(1/2^2)N_{DI} = b_{k-1}2^{k-3} + b_{k-2}2^{k-4} + \cdots + b_1/2 \quad (1.2.8c)$$

得余数为 b_1 。因此不难想到,将十进制数每除以一次 2,就可根据余数得到二进制数的一位数字。因此,只要将十进制数逐次除以 2,直到商为 0,就可根据所得余数求出二进制数。这种转换方法称为“除基取余法”。

① H 系 Hexadecimal 的缩写;

② 下标中 I 系 Integer 的缩写。

例 1.2.4 将十进制数 222 转换为二进制数。

解 用“除基取余法”，将十进制数逐次除以 2，取其余数，即得二进制数。

2	2 2 2		
2	1 1 1	0	b_0 (LSB)①
2	5 5	1	b_1
2	2 7	1	b_2
2	1 3	1	b_3
2	6	1	b_4
2	3	0	b_5
2	1	1	b_6
2	0	1	b_7 (MSB)②

以末位余数为最高位数字，首位余数为最低位数字，依次排列得二进制数

$$(222)_D = (11011110)_B$$

2. 小数部分的转换

根据式(1.2.6)和(1.2.7)，小数部分可以表示为

$$N_{DF} \text{ ③} = b_{-1}2^{-1} + b_{-2}2^{-2} + \dots + b_{-i}2^{-i} \quad (1.2.9a)$$

将式(1.2.9a)两边同乘以 2，得

$$2 \cdot N_{DF} = b_{-1} + b_{-2}2^{-1} + \dots + b_{-i}2^{-(i-1)} \quad (1.2.9b)$$

由式(1.2.9b)可见，将十进制小数乘以 2，取其整数部分即为 b_{-1} 。由此不难想到，将十进制小数每乘以一次 2，就可根据其乘积中的整数部分得到二进制小数的一位数字。因此，只要逐次乘以 2，且依次取出乘积中的整数部分，直到小数部分为 0 或者达到所需的精度为止，即可求得相应的二进制小数。这种转换方法称为“乘基取整法”。

例 1.2.5 将十进制数 0.812 5 转换为二进制数。

解 用“乘基取整法”，将十进制小数逐次乘以 2，取其整数，即得二进制数。

	0.812 5	0.625	0.25	0.50
(乘基)	× 2	× 2	× 2	× 2
	1.6250	1.250	0.50	1.00
	⋮	⋮	⋮	⋮
(取整)	1	1	0	1
	⋮	⋮	⋮	⋮
	b_{-1}	b_{-2}	b_{-3}	b_{-4}

将每次乘积的整数部分按先后依次排列即为所求二进制数

$$(0.8125)_D = (0.1101)_B$$

例 1.2.6 将十进制数 222.812 5 转换为二进制数。

① LSB 系 Low Significant Bit 的缩写。
② MSB 系 Maximum Significant Bit 的缩写
③ 下标中 F 系 Fraction 的缩写。

解 十进制数 222.812 5 的整数部分和小数部分分别用“除基取余法”和“乘基取整法”进行转换,即可求得所需的二进制数。实际上,其整数部分和小数部分已分别由例 1.2.4 和 1.2.5 求得,现将它们合并起来即为所求二进制数

$$(222.812\ 5)_D = (11011110.1101)_B$$

1.2.2.2 基数为 2ⁱ 的各进制间的转换

由于用二进制数表示较大数时,数位过长,不易读写,因而在数字系统和计算机中,常将其用 2ⁱ 进制来表达,如八进制和十六进制等。由表 1.2.1 可以看出,三位二进制数可以组成一位八进制数,四位二进制数可以组成一位十六进制数,因此,容易推出它们数位之间有如下关系:

$$\begin{array}{ccccccc} O_3 & O_2 & O_1 & O_0 & & O_{-1} & O_{-2} \\ \hline 0\ b_7\ b_6 & b_5\ b_4\ b_3 & b_2\ b_1\ b_0 & b_{-1}\ b_{-2}\ b_{-3} & b_{-4}\ b_{-5}\ b_{-6} & 00 & \\ \hline H_2 & H_1 & & H_{-1} & & H_{-2} & \end{array} \quad \text{即}$$

$$(b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0b_{-1}b_{-2}b_{-3}b_{-4}b_{-5}b_{-6})_B = (O_3O_2O_1O_0O_{-1}O_{-2})_O = (H_2H_1H_{-1}H_{-2})_H$$

数位不够时可用 0 补齐。通过查表 1.2.1 所示的数制对照表,利用八进制数和十六进制数与二进制数之间的对应关系,不难进行它们之间的相互转换。

例 1.2.7 将二进制数 1101110.1101 分别转换成八进制数和十六进制数。

解 用上述推出的数位关系求解。以小数点为界,整数部分从右向左划分,小数部分从左向右划分。数位不够时用 0 补齐。

$$\begin{array}{ccccccc} \text{八进制数} & & 1 & & 5 & & 6 & . & & 6 & & 4 \\ \text{二进制数} & & 0 & 0 & 1 & & 1 & 0 & 1 & & 1 & 1 & 0 & . & & 1 & 1 & 0 & & 1 & 0 & 0 \\ \text{十六进制数} & & & & & & 6 & & E & & & & B & & & & & & & & \end{array}$$

即

$$(1101110.1101)_B = (156.64)_O = (6E.B)_H$$

例 1.2.8 将十六进制数 A46.98F 转换为八进制数。

解 根据表 1.2.1 中数位之间的对应关系,先将十六进制数转换为二进制数。再将二进制数转换为八进制数。

$$(A46.98F)_H = (101001000110.100110001111)_B = (5106.4617)_O$$

例 1.2.9 将八进制数 243.57 转换为十六进制数。

解 查表 1.2.1,先将八进制数转换为二进制数,再将二进制数转换为十六进制数

$$(243.57)_O = (10100011.101111)_B = (A3.BC)_H$$

1.2.2.3 十进制转换为八进制和十六进制

十进制转换为八进制和十六进制有两种方法。一种方法是前面介绍的“基数乘法”,即对整数部分“除基取余”,对小数部分“乘基取整”,即可求得转换结果;另一种方法是以二进制为“桥梁”进行转换,即先把待转换的十进制数按“基数乘法”转换为二进制数,再根据数位之间的对应关系(表 1.2.1),也可求得转换结果。实际上,后者较为方便。读者可把例 1.2.4,例 1.2.5,例 1.2.6,例 1.2.7 对照起来学习,作为这种转换方法的一个练习。

1.2.3 码制

在数学系统和计算机中,常用一定位数的二进制数码按一定的规则排列起来,表示数字和