

可下载教学资料

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



高等学校教材
电子信息

数字电子技术基础 (第2版)

林涛 主编
楚岩 田莉娟 林薇 等 编著

清华大学出版社

高等学校教材
电子信息

数字电子技术基础 (第2版)

林涛 主编
楚岩 田莉娟 林薇 等 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书依据新修订的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》，并结合多年的教学实践经验编写而成。主要内容包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与变换、A/D 与 D/A 转换、可编程逻辑器件、VHDL 语言简介及其在数字系统分析与设计中的应用举例等。各章前有内容提要、学习提示，章末有小结、思考题与习题。

本书可作为高等学校电气信息类、电子信息类、计算机类及相近专业本科生数字电子技术基础教材和教学参考书，也可作为有关工程技术人员的参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术基础/林涛主编. —2 版. —北京：清华大学出版社，2012.4

（高等学校教材·电子信息）

ISBN 978-7-302-27504-6

I. ①数… II. ①林… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 247762 号

责任编辑：郑寅堃 徐跃进

封面设计：常雪影

责任校对：李建庄

责任印制：何 芊

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>，<http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>，010-62795954

印 装 者：北京嘉实印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：22 字 数：548 千字

版 次：2006 年 1 月第 1 版 2012 年 4 月第 2 版 印 次：2012 年 4 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：35.00 元

本书是在《数字电子技术基础》第1版的基础上，主要做了以下几个方面的修改和补充：

(1) 对多数章节的内容进行了重新改写，强调了电路的改进过程，增强了教材内容的系统性。对基础内容的叙述更注重细节，注意到图形表示信息的优势，尽可能采用图形解释有关问题，希望有助于读者更好地理解基本内容。

(2) 增加了应用电路举例，以简易交通信号灯控制系统的设计为例贯穿本书的主要章节，强调了前后内容的联系。

(3) VHDL 语言简介单独编为第10章，这样使VHDL语言的内容相对集中。但选用该教材的教师根据自己的教学安排，也可以采用原书第1版的安排顺序，把相关内容分散到有关章节中进行介绍。

(4) 修订了习题与思考题，增加了反映基本概念的题目，部分习题在灵活性和深度上有所增加，希望通过这些题目增强学有余力的读者的学习兴趣。

(5) 在教材修订中，反映了编者对数字电子技术的思考，如对全加器电路实现方式的讨论、利用反馈置数法设计任意进制计数器时，置数输入端采用变量进行预置数，实现多次置数的设计思路的讨论等。这些内容的加入是否合适，还有待教学实践的检验，敬请读者不吝赐教。

在本次修订中，刘占文负责第9、10、11章的修订与编写工作。

限于编者的水平，书中难免会有缺点和错误，欢迎读者批评指正。

编者

2012年3月

电子技术是目前发展最快的技术领域之一，数字电子技术在数字集成电路集成度越来越高的情况下，开发数字系统的实用方法和用来实现这些方法的工具已经发生了变化。特别是可编程逻辑器件的大量应用，传统的 74 系列标准逻辑器件在应用系统的设计中应用越来越少。但是，在数字电子技术中作为理论基础的基本原理并没有改变，理解大规模集成电路中的基本模块结构仍然需要基本单元电路的有关概念。因此，作为数字电子技术基础课程，介绍数字系统中常用的基本单元电路、基本功能模块及基本的分析方法仍然是其基本内容。本书的主要内容包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、脉冲波形的产生与变换、A/D 与 D/A 转换和可编程逻辑器件等。

尽管传统的基本单元电路对于理解数字系统基本构成模块的工作原理具有重要意义，但是必须认识到，电子技术的新进展使数字系统和数字逻辑电路的工作过程出现了新的描述方法，未来的数字系统设计，对描述方法的理解可能比具体的硬件结构更重要。把硬件描述语言作为数字电子技术基础的内容之一，已出现在新修订的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》中。本书在编写过程中注意到电子技术领域的这些新变化，在教材内容中引入了 VHDL 语言及基本逻辑器件的硬件描述语言的描述方法。VHDL 语言作为目前较为流行的硬件描述语言，它本身具有一套完整的语法体系，数字电子技术基础的课程性质不允许全面介绍 VHDL 语言。因此，如何用较少的篇幅，在介绍 VHDL 语言的基本语法结构时，使读者在理解基本逻辑器件的 VHDL 语言描述不会出现较大的障碍，这是值得探讨的问题。本书在编写中采用了较为实用的方法，即围绕基本元器件的 VHDL 描述需求介绍 VHDL 语言的基本语法，把 VHDL 语言的介绍融入各个基本数字功能器件的介绍之中，这种做法是否合适，还有待教学实践的检验。读者若希望深入了解 VHDL 语言，请阅读专门介绍 VHDL 语言的教材或相关资料。另外，读者在阅读本书时，若跳过有关 VHDL 的内容，不影响其他内容的连贯性。

参加本书编写工作的有田莉娟（第 1、6 章）、林薇（第 2、8 章）、楚岩（第 3、4、5、7 章）、林涛（第 9、10 章及 1.7、3.6、4.4、5.6 节），林涛负责制定编写提纲和全

书的统稿工作。

限于编者的水平，书中难免会有缺点和错误，欢迎读者批评指正。

联系方式：E-mail: dgdzjs@chd.edu.cn

编者

2006年5月

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 概述.....	1
1.1.1 数字技术的特点.....	1
1.1.2 数字电路的发展.....	2
1.1.3 数字电路的研究对象、分析工具及描述方法.....	3
1.2 数制与码制.....	3
1.2.1 基数、位权的基本概念.....	3
1.2.2 几种常用的数制.....	4
1.2.3 数制之间的相互转换.....	5
1.2.4 码制.....	8
1.3 三种基本逻辑运算.....	9
1.3.1 与运算.....	10
1.3.2 或运算.....	11
1.3.3 非运算.....	12
1.3.4 常用复合逻辑.....	12
1.4 逻辑代数的基本定理.....	13
1.4.1 逻辑代数的基本定律.....	13
1.4.2 基本规则.....	15
1.4.3 基本定律的应用.....	16
1.5 逻辑函数及其表示方法.....	17
1.5.1 逻辑函数的定义.....	17
1.5.2 逻辑函数的表示方法.....	17
1.6 逻辑函数的化简.....	19
1.6.1 逻辑函数化简的意义.....	19
1.6.2 代数化简法.....	20
1.6.3 卡诺图化简法.....	23
本章小结.....	30
思考题与习题.....	30

第2章 逻辑门电路	33
2.1 简单的与、或、非门电路.....	33
2.1.1 二极管的开关特性.....	33
2.1.2 三极管的开关特性.....	34
2.1.3 简单的与、或、非门电路.....	36
2.2 TTL与非门电路.....	39
2.2.1 TTL与非门的工作原理.....	39
2.2.2 TTL与非门的外特性.....	41
2.2.3 TTL与非门的主要参数.....	44
2.2.4 抗饱和TTL电路.....	48
2.2.5 集电极开路与非门和三态与非门.....	49
2.3 CMOS门电路.....	53
2.3.1 NMOS逻辑门电路.....	53
2.3.2 CMOS逻辑门电路.....	54
2.3.3 CMOS传输门.....	57
2.4 逻辑门电路使用中的几个实际问题.....	58
2.4.1 各种门电路之间的接口问题.....	58
2.4.2 多余输入端的处理措施.....	60
2.4.3 集成逻辑门器件的选择.....	60
本章小结.....	61
思考题与习题.....	61
第3章 组合逻辑电路	65
3.1 概述.....	65
3.1.1 组合逻辑电路的特点.....	65
3.1.2 组合逻辑电路逻辑功能描述方式及其相互关系.....	66
3.2 组合逻辑电路的分析方法.....	69
3.3 组合逻辑电路设计的一般方法.....	72
3.4 编码器与译码器.....	74
3.4.1 编码器.....	74
3.4.2 译码器.....	79
3.5 数据分配器与数据选择器.....	86
3.5.1 数据分配器.....	86
3.5.2 数据选择器.....	87
3.6 算术运算电路.....	91
3.6.1 加法器.....	91
3.6.2 二进制减法运算.....	93
3.6.3 加法器应用举例.....	96
3.6.4 数值比较器.....	97

3.7 组合逻辑电路应用举例	100
3.7.1 奇偶发生器/校验器在数据传输中的应用	101
3.7.2 简易交通信号灯控制电路	102
3.7.3 全加器电路实现形式的多样性讨论	104
3.8 组合逻辑电路中的竞争-冒险	108
3.8.1 产生竞争-冒险的原因	108
3.8.2 冒险现象的判别	110
3.8.3 消除冒险现象的方法	112
本章小结	113
思考题与习题	114
第4章 触发器	120
4.1 概述	120
4.2 触发器的电路结构与工作原理	121
4.2.1 基本 RS 触发器	121
4.2.2 同步 RS 触发器	124
4.2.3 主从触发器	128
4.2.4 边沿触发器	131
4.3 触发器的逻辑功能及其描述方法	134
4.3.1 RS 触发器	135
4.3.2 JK 触发器	136
4.3.3 D 触发器	136
4.3.4 T 触发器	138
4.4 触发器的动态工作特性	140
4.4.1 传输延迟时间	140
4.4.2 建立时间	140
4.4.3 保持时间	141
4.4.4 最大时钟频率	141
本章小结	142
思考题与习题	142
第5章 时序逻辑电路	148
5.1 概述	148
5.1.1 时序逻辑电路的一般结构形式	148
5.1.2 时序逻辑电路的描述方法	149
5.2 时序逻辑电路的分析方法	150
5.2.1 同步时序逻辑电路分析举例	150
5.2.2 异步时序电路分析举例	153
5.3 寄存器和移位寄存器	154

5.3.1	寄存器	154
5.3.2	移位寄存器	155
5.4	计数器	158
5.4.1	2^n 进制计数器组成规律	158
5.4.2	集成计数器	161
5.4.3	计数器的设计方法	167
5.5	顺序脉冲发生器与序列信号发生器	176
5.5.1	顺序脉冲发生器	176
5.5.2	序列信号发生器	177
5.6	时序逻辑电路应用举例	179
5.6.1	定周期交通信号灯控制电路	179
5.6.2	多路脉冲信号形成电路	179
	本章小结	180
	思考题与习题	180
第 6 章	半导体存储器	185
6.1	概述	185
6.2	只读存储器	188
6.3	随机存储器	195
	本章小结	201
	思考题与习题	201
第 7 章	脉冲波形的产生与变换	205
7.1	概述	205
7.2	多谐振荡器	206
7.2.1	反相器与 RC 元件组成的环形多谐振荡器	207
7.2.2	采用石英晶体的多谐振荡器	212
7.3	单稳态触发器	213
7.3.1	门电路与 RC 元件构成的单稳态触发器	213
7.3.2	集成单稳态触发器	215
7.3.3	单稳态触发器的应用	217
7.4	施密特触发器	218
7.4.1	门电路构成的施密特触发器	219
7.4.2	施密特触发器的应用	221
7.5	555 定时器及其应用	223
7.5.1	555 定时器的电路组成及工作原理	223
7.5.2	555 构成的施密特触发器	225
7.5.3	555 构成的单稳态触发器	225
7.5.4	555 构成的多谐振荡器	226

7.6 应用电路举例	229
本章小结	231
思考题与习题	231
第 8 章 数/模与模/数转换电路	236
8.1 概述	236
8.2 数/模转换电路	237
8.2.1 D/A 转换的基本思路	237
8.2.2 典型的 D/A 转换电路	238
8.2.3 D/A 转换器的输出方式	240
8.2.4 D/A 转换器的主要技术参数	243
8.2.5 集成 D/A 转换器举例	244
8.3 模/数转换电路	245
8.3.1 A/D 转换的基本原理	245
8.3.2 直接 A/D 转换器	247
8.3.3 间接 A/D 转换器	252
8.3.4 A/D 转换器的主要技术参数	254
8.3.5 集成 A/D 转换器举例	255
本章小结	256
思考题与习题	256
第 9 章 可编程逻辑器件	259
9.1 概述	259
9.1.1 可编程逻辑器件发展过程简介	259
9.1.2 PLD 的分类	260
9.1.3 PLD 中门电路的习惯表示方法	262
9.2 PLA 和 PAL 的电路结构	262
9.2.1 PLA 的电路结构与应用举例	262
9.2.2 PAL 的电路结构与应用举例	262
9.3 通用阵列逻辑	268
9.3.1 GAL 器件的基本结构	268
9.3.2 可编程输出逻辑宏单元 OLMC	268
9.3.3 GAL 器件的特点	273
9.4 高密度可编程逻辑器件	273
9.4.1 典型的 CPLD 结构	274
9.4.2 现场可编程门阵列 FPGA	279
9.4.3 CPLD 与 FPGA 比较	282
本章小结	283
思考题与习题	283

第 10 章 VHDL 语言简介	285
10.1 VHDL 语言基础	285
10.1.1 标识符、常量及信号	286
10.1.2 数据类型	287
10.1.3 运算操作符	288
10.1.4 基本设计单元	289
10.2 常用组合逻辑功能器件的 VHDL 语言描述	291
10.2.1 VHDL 语言的主要描述语句	291
10.2.2 常用组合逻辑功能器件的 VHDL 描述	294
10.3 触发器的 VHDL 语言描述	299
10.3.1 时钟信号的 VHDL 描述	299
10.3.2 D 触发器的 VHDL 描述	300
10.3.3 JK 触发器的 VHDL 描述	301
10.3.4 RS 触发器的 VHDL 描述	303
10.4 常见时序逻辑电路的 VHDL 语言描述	304
10.4.1 生成语句及元件例化语句	304
10.4.2 寄存器的 VHDL 描述	306
10.4.3 计数器的 VHDL 描述	308
本章小结	310
思考题与习题	310
第 11 章 VHDL 在数字系统分析与设计中的应用举例	311
11.1 键盘编码器电路组成及程序分析	311
11.2 具有基本功能的数字时钟电路的设计	315
11.2.1 设计要求及系统框图	315
11.2.2 从上到下的层次化设计	316
11.2.3 从下向上创建模块	318
11.2.4 设计顶层模块的 VHDL 源程序	324
11.3 简易交通信号灯控制电路的设计	327
11.3.1 设计要求及系统框图	327
11.3.2 从上到下的层次化设计	328
11.3.3 从下向上创建模块	329
本章小结	333
思考题与习题	333
参考文献	334

数字逻辑基础

内容提要：本章主要介绍数制、代码、三种基本逻辑运算、逻辑代数的基本定理、逻辑函数及其化简方法。

学习提示：二进制数及二进制代码是数字系统中信息的主要表示形式，与、或、非三种基本逻辑运算是逻辑代数的基础，逻辑代数是分析数字电路和系统的基本工具。熟练掌握三种基本逻辑运算是正确理解逻辑代数基本定理的前提，正确理解并熟练掌握逻辑代数的基本定理、逻辑函数的代数化简法和卡诺图化简法是深入学习数字电子技术的关键。

1.1 概 述

电子电路分为模拟电路和数字电路两大部分，模拟电路所处理的信号是在时间上和数值上连续的模拟信号，数字电路则用于处理在时间上和数值上不连续的离散信号或者叫做数字信号。如今，数字电路与技术已广泛应用于计算机、自动化装置、医疗仪器与设备、交通、电信、家用电器等几乎所有的生产生活领域中，可以毫不夸张地说，几乎每人每天都在与数字技术打交道。从本章开始，将分别介绍有关数字电子技术的一些基本概念、基本理论与基本分析方法，它们对于从最简单的开关接通和断开到比较复杂的计算机等所有的数字系统都是适用的。

1.1.1 数字技术的特点

无论在简单的数字电路或复杂的数字系统中，一般仅涉及两种可能的逻辑状态，它们分别用高电平和低电平表示，高低电平通常用1和0表示。当用1和0分别表示高低电平时，称之为正逻辑。它是目前各种数字系统中普遍采用的逻辑体系。这里的0和1不代表数值的大小，而代表两种不同的逻辑状态。

经常看到日常生活中的电子仪器及相关技术中，过去曾用模拟电路实现的功能，如今越来越多地被数字技术所替代，向数字技术转移的主要原因在于数字技术具有较多的优点：

(1) 数字系统一般容易设计与调试。数字系统所使用的电路是开关电路，开关电路中电压或电流的精确值并不重要，重要的是其所处的状态（高电平或低电平）。

(2) 数字信息存储方便。信息存储由特定的器件和电路实现，这种电路能存储数字信息并根据需要长期保存。大规模存储技术能在相对较小的物理空间上存储几十亿位信息。

(3) 数字电路抗干扰能力强。在数字系统中，因为电压的准确值并不重要，只要噪声信号不至于影响区别高低电平，则电压寄生波动（噪声）的影响就可忽略不计。而在模拟系统中，电压和电流信号由于受到信号处理电路中元器件参数的改变、环境温度的影响等会产生失真。

(4) 数字电路易于集成化。数字电路中涉及的主要器件是开关元件，如二极管、三极管、场效应管等，它们便于集成在一个芯片上。事实上，模拟电路也受益于快速发展的集成电路工艺，但是模拟电路相对复杂一些，所有器件无法经济地集成在一起（如大容量电容、精密电阻、电感、变压器等），它阻碍了模拟系统的集成化，使其无法达到与数字电路同样的集成度。

(5) 数字集成电路的可编程性好。现代数字系统的设计，越来越多地采用可编程逻辑器件，硬件描述语言的发展，促进了数字系统硬件电路设计的软件化，为数字系统研发带来了极大的方便与灵活性。

虽然数字技术的优点明显，但采用数字技术时必须面对下述两大问题：

一是自然界中大多数物理量是模拟量，二是模拟信号的数字化过程需要时间。应用系统中被检测、处理、控制的输入输出信号经常是模拟信号，如温度、压力、速度、液位、流速等。当涉及模拟输入输出时，为了利用数字技术的优点，必须首先把实际中的模拟信号转换为数字形式，进行数字信息处理，最后再把数字信号变换为模拟信号输出。由于必须在信息的模拟形式与数字形式之间进行转换，从而增加了系统的复杂性和费用。所需要的数据越精确，则处理过程花费的时间越长。

1.1.2 数字电路的发展

数字技术的发展历程一般以数字逻辑器件的发展为标志，数字逻辑器件经历了从半导体分立元件到集成电路的过程，数字集成电路可分为小规模（SSI）、中规模（MSI）、大规模（LSI）和超大规模（VLSI）集成电路等，如表 1.1 所示。集成度是指一个芯片中所含等效门电路（或晶体管）的个数。随着集成电路生产工艺的进步，数字逻辑器件的集成度越来越高，目前所生产的高密度超大规模集成电路（GLSI）的一个芯片内所含等效门电路的个数已超过一百万。

表 1.1 集成电路的分类

类 型	晶体管个数	典型集成电路
小规模（SSI）	≤ 10	逻辑门
中规模（MSI）	10~100	计数器、加法器
大规模（LSI）	100~1000	小型存储器、门阵列
超大规模（VLSI）	1000~ 10^6	大型存储器、可编程逻辑器件等

数字逻辑器件有标准逻辑器件、专用集成电路（ASIC）、可编程逻辑器件（PLD）三

种类型,标准逻辑器件包括 TTL、CMOS、ECL 系列,其中 TTL、CMOS 系列是过去 40 多年中构成数字电路的主要元器件,但随着可编程逻辑器件的发展,新的系统设计正越来越多地采用可编程逻辑器件实现。因此,可编程逻辑器件代表了数字技术的发展方向。

随着现代电子技术和信息技术的飞速发展,数字电路已从简单的电路集成走向数字逻辑系统集成,即把整个数字逻辑系统制作在一个芯片上(SOC)。电路集成与系统集成都属于硬件集成技术。硬件集成技术飞速发展的同时,系统设计软件技术也发展得很快。硬件集成技术与系统设计软件技术的迅猛发展,向实现彻底的、真正的电子系统设计自动化的目标靠得更近。

1.1.3 数字电路的研究对象、分析工具及描述方法

数字电路是以二值数字逻辑为基础的,电路的输入输出信号为离散数字信号,电路中电子元器件工作在开关状态。数字电路响应输入的方式叫做电路逻辑,每种数字电路都服从一定的逻辑规律。由于这一原因,数字电路又叫做逻辑电路。

在数字电路中,人们关心的是输入输出信号之间的逻辑关系,输入信号通常称为输入逻辑变量,输出信号通常称为输出逻辑变量,输入逻辑变量与输出逻辑变量之间的因果关系通常用逻辑函数来描述。

分析数字电路的数学工具是逻辑代数,描述数字电路逻辑功能的常用方法有真值表、逻辑表达式、时序图、逻辑电路图等,随着可编程逻辑器件的广泛应用,硬件描述语言(HDL)已成为数字系统设计的主要描述方式,目前较为流行的硬件描述语言有 VHDL、Verilog HDL 等。

1.2 数制与码制

1.2.1 基数、位权的基本概念

数制是数的表示方法,为了描述数的大小或多少,人们采用进位计数的方法,称为进位记数制,简称数制。组成数制的两个基本要素是进位基数与数位权值,简称基数与位权。

基数:一个数位上可能出现的基本数码的个数,记为 R 。例如,十进制有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个数码,则基数 $R=10$ 。

位权:位权是基数的幂,记为 R^i ,它与数码在数中的位置有关。例如,十进制数 $137=1\times 10^2+3\times 10^1+7\times 10^0$, 10^2 、 10^1 、 10^0 分别为最高位、中间位和最低位的位权。

同一串数字,数制不同,代表的数值大小也不同。在一个特定的记数体制中,同一个数码,处于不同的位置时,其表示的数值大小也不同。

设: R 进制的数为 N ,则可用多项式表示为:

$$\begin{aligned} (N)_R &= d_{n-1}R^{n-1} + d_{n-2}R^{n-2} + \cdots + d_1R^1 + d_0R^0 + d_{-1}R^{-1} + d_{-2}R^{-2} + \cdots + d_{-m}R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i R^i \end{aligned} \quad (1.1)$$

其中下标 $n-1, n-2, \dots, 1, 0$ 表示整数部分, $-1, -2, \dots, -m$ 表示小数部分, d_i 表示所在数位上的数码。式 (1.1) 为任一记数体制的数的通式表示法。

1.2.2 几种常用的数制

1. 十进制

十进制数的基数 $R = 10$, 共有 $0 \sim 9$ 十个数码, 进位规则是逢十进一, 各位的权值为 10 的幂。

任一十进制数的多项式表示法为:

$$\begin{aligned} (N)_D &= d_{n-1}10^{n-1} + d_{n-2}10^{n-2} + \dots + d_110^1 + d_010^0 + d_{-1}10^{-1} + d_{-2}10^{-2} + \dots + d_{-m}10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 10^i \end{aligned} \quad (1.2)$$

十进制是人们最熟悉的数制, 但不适合在数字系统中应用, 因为很难找到一个电子器件使其具有十个不同的电平状态。

2. 二进制

二进制数的基数 $R = 2$, 共有 $0, 1$ 两个数码, 进位规则是逢二进一, 各位的权值是 2 的幂。

任一二进制数的多项式表示法为:

$$\begin{aligned} (N)_B &= d_{n-1}2^{n-1} + d_{n-2}2^{n-2} + \dots + d_12^1 + d_02^0 + d_{-1}2^{-1} + d_{-2}2^{-2} + \dots + d_{-m}2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 2^i \end{aligned} \quad (1.3)$$

二进制计数规则简单, 存储、传递方便, 广泛应用于数字系统。但对于较大的数值, 需要较多位表示, 书写太长, 不够方便。

3. 八进制

八进制数的基数 $R = 8$, 共有 $0 \sim 7$ 八个数码, 进位规则是逢八进一, 各位的权值是 8 的幂。

任一八进制数的多项式表示法为:

$$\begin{aligned} (N)_O &= d_{n-1}8^{n-1} + d_{n-2}8^{n-2} + \dots + d_18^1 + d_08^0 + d_{-1}8^{-1} + d_{-2}8^{-2} + \dots + d_{-m}8^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 8^i \end{aligned} \quad (1.4)$$

因为 $2^3 = 8$, 所以用三位二进制数可以表示一位八进制数, 换句话说, 用一位八进制数可以表示三位二进制数。

4. 十六进制

十六进制数的基数 $R = 16$, 共有 $0 \sim 9, A \sim F$ 16 个数码, 进位规则是逢十六进一, 各位的权值是 16 的幂。

任一十六进制数的多项式表示法为:

$$\begin{aligned}(N)_H &= d_{n-1}16^{n-1} + d_{n-2}16^{n-2} + \cdots + d_116^1 + d_016^0 + d_{-1}16^{-1} + d_{-2}16^{-2} + \cdots + d_{-m}16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i 16^i\end{aligned}\quad (1.5)$$

因为 $2^4 = 16$, 故可以用四位二进制数表示一位十六进制数, 换句话说, 用一位十六进制数可以表示四位二进制数。

在计算机系统中, 二进制主要用于机器内部的数据处理。八进制和十六进制主要用于书写程序。十进制主要用于运算最终结果的输出。

表 1.2 是十进制数 0~17 与等值的二进制、八进制、十六进制数的对照表。

表 1.2 几种数制之间的关系对照表

十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
0	00000	0	0
1	00001	1	1
2	00010	2	2
3	00011	3	3
4	00100	4	4
5	00101	5	5
6	00110	6	6
7	00111	7	7
8	01000	10	8
9	01001	11	9
10	01010	12	A
11	01011	13	B
12	01100	14	C
13	01101	15	D
14	01110	16	E
15	01111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11

1.2.3 数制之间的相互转换

在数字系统中, 可能同时用到多种数制, 因此, 理解一个数字系统的运算过程, 需要具备进行数制间相互转换的能力, 比如说, 我们重点关心图 1.1 所示的各种数制的相互转换, 首先要解决的问题是如何实现这种转换的方法。

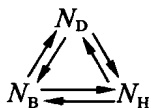


图 1.1 二、十、十六进制数的相互转换