



“十三五”职业教育规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

数字电子技术 项目式教程

借鉴国际职业教育的先进教学模式，顺应现代职业教育制度的改革趋势；以能力为主、应用为本作为职业教育导向的内容体系

基于岗位技能，面向操作过程的编写思路；应用类课程与国家职业认证挂钩

董小琼 主 编
陈 杰 副主编
余海明 主 审



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

“十三五”职业教育规划教材
高职高专课程改革项目研究成果

数字电子技术项目式教程

主 编 董小琼
副主编 陈 杰
主 审 余海明

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书是根据教育部关于《加强高职高专教育人才培养工作的意见》的主要精神,本着“工学结合、项目引导、任务驱动、教学做一体化”的原则,以理论够用、着眼应用的思想而编写的。

全书内容由7个项目组成,项目内容的选取具有典型性和可操作性,包括电子液位控制器的设计制作、四路抢答器的设计制作、多路控制开关的设计制作、计数显示电路的设计制作、自动控制小车电路的设计制作、信号发生器电路的设计制作和数字频率计的设计制作。本书以项目任务为出发点,引入掌握数字电子技术所需的基础知识和基本技能。通过项目任务的完成,提高学生对数字电子技术的理解,使之能综合运用所学知识完成小型数字系统应用电路的设计制作,培养学生实际操作能力以及发现问题、解决问题的能力。

本书可作为高等职业技术学院、高职专科学校、成人高校等学校的电力、电子、通信、机电一体化、电气自动化、计算机技术等专业的教材,也可供从事电子行业的工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术项目式教程/董小琼主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.5
(2017.6重印)

ISBN 978-7-5682-3831-1

I. ①数… II. ①董… 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(2017)第054383号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市华骏印务包装有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 12

字 数 / 282千字

版 次 / 2017年5月第1版 2017年6月第2次印刷

定 价 / 30.00元

责任编辑 / 王艳丽

文案编辑 / 王艳丽

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

Preface

本书是根据教育部关于《加强高职高专教育人才培养工作的意见》的主要精神，本着“工学结合、项目引导、任务驱动、教学做一体化”的原则，以理论够用、着眼应用的思想而编写的。供高等职业技术学院电力、电子、计算机、通信、机电一体化及电气自动化类各专业“数字电子技术基础”“数字电子技术”课程教学使用。教材内容力求全面体现高职职业教育的特点。

(1) 以项目引导教与学。

本书按照“以就业为导向，以服务为宗旨”的职业目标，通过项目任务引入相关知识和理论，通过项目的实施进行技能训练，施行“教、学、做”一体化的教学思路。

(2) 项目的选取具有典型性、可操作性。

本书每个项目的选取来源于生活实际需求，将基础知识适当地融入项目实施中。学习的过程是围绕工作进行的，从而提高学生学习的兴趣，调动学生学习的积极性与主动性。

(3) 注重职业能力的培养。

本书共7个项目，每个项目有要求、目标、电路原理和实施过程。通过项目的设计制作、调试和故障排除，不仅提高了学生对数字电子技术的理解和应用能力，也强调了学生职业技能的训练、职业能力的培养，做到学以致用，使学生能独立解决实际工作中遇到的问题。

(4) 在内容选取上以“必需、够用”为原则。

数字电子技术是当前发展较快的学科之一，其发展主要体现在数字电路器件与系统设计方法、制作技术以及对数字信号处理的方法上。本书对数字电子技术的基本理论进行了必要的阐述，对组合逻辑电路与时序逻辑电路的分析方法以及组合逻辑电路的设计等做了必要的介绍，没有涉及时序逻辑电路的设计问题。通过项目的实施介绍电路设计制作、调试与检测。内容层次清晰，循序渐进，让学生对数字电子技术基本理论、电路组成及电子系统有较深入的理解和掌握，为今后的持续学习奠定基础。

(5) 内容安排符合职业成长规律。

本书根据职业成长规律、认知规律和递进规律重构学习领域。对基本方法和基本技能力求完整、明确、实用，做到学用结合。在内容上突出常用集成电路的功能和使用方法介绍，减少对其内部电路的讲解和讨论。另外，本教材还注重吸收新技术、新产品和新内容。本教材结构合理，重点突出，例题简明，便于教学。

本书每个项目都有所需达到的知识目标、技能目标及任务要求，起承前启后的作用。每个项目都有项目小结，便于复习和巩固。每个项目都由几个模块构成，应用实例

与实际应用结合紧密，便于学生掌握，每个项目后都附有习题，题型丰富，难度适中。

本书由湖北水利水电职业技术学院董小琼主编，陈杰任副主编，余海明任主审，由董小琼负责总体策划及全书的统稿。本书在编写过程中得到了湖北水利水电职业技术学院丁官元教授的关心和支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误和疏漏之处，热忱欢迎使用本教材的教师与学生们对本书提出批评与建议。

编 者



目 录

Contents

► 绪论	1
► 项目 1 电子液位控制器的设计制作	4
模块 1.1 常用数制及转换	5
1.1.1 数制	5
1.1.2 数制转换	8
1.1.3 码制	10
模块 1.2 逻辑代数基础	12
1.2.1 基本逻辑函数及运算	12
1.2.2 逻辑代数的基本定律与规则	17
1.2.3 逻辑函数的几种表示方法及相互转换	19
1.2.4 逻辑函数的化简	23
模块 1.3 逻辑门电路	27
1.3.1 分立元器件门电路	28
1.3.2 TTL 集成逻辑门电路	29
1.3.3 常用 CMOS 门电路	35
1.3.4 TTL 与 CMOS 接口电路	38
模块 1.4 项目的实施	39
项目小结	40
习题一	41
► 项目 2 四路抢答器的设计制作	45
模块 2.1 组合逻辑电路的分析与设计	46
2.1.1 组合逻辑电路的分析	46
2.1.2 组合逻辑电路的设计	49
模块 2.2 常用组合逻辑部件	52
2.2.1 编码器	52
2.2.2 译码器	56
2.2.3 数据选择器与分配器	62
模块 2.3 组合逻辑电路中的竞争与冒险	66
2.3.1 竞争冒险的概念	66
2.3.2 竞争冒险的判断与消除	67

模块 2.4 项目的实施	68
项目小结	69
习题二	70
►项目 3 多路控制开关的设计制作	73
模块 3.1 触发器	74
3.1.1 RS 触发器	74
3.1.2 D 触发器	80
3.1.3 T 触发器和 T' 触发器	83
3.1.4 JK 触发器	85
3.1.5 不同触发器的转换	88
模块 3.2 项目的实施	90
项目小结	91
习题三	92
►项目 4 计数显示电路的设计制作	95
模块 4.1 时序逻辑电路	96
4.1.1 时序逻辑电路的特点及分类	96
4.1.2 时序逻辑电路的一般分析方法	97
模块 4.2 计数器	98
4.2.1 计数器的功能、分类和基本原理	98
4.2.2 集成二进制计数器	100
4.2.3 集成十进制计数器	101
4.2.4 N 进制计数器	102
模块 4.3 寄存器	106
4.3.1 寄存器的特点和分类	106
4.3.2 数码寄存器	106
4.3.3 移位寄存器	107
模块 4.4 项目的实施	110
项目小结	110
习题四	111
►项目 5 自动控制小车电路的设计制作	116
模块 5.1 555 定时器	117
5.1.1 555 定时器的特点、分类、引脚	117
5.1.2 555 电路结构及工作原理	117
模块 5.2 脉冲波形的产生和整形	119
5.2.1 施密特触发器	119

5.2.2 单稳态触发器	122
5.2.3 多谐振荡器	125
模块 5.3 项目的实施	126
项目小结	128
习题五	129
 ► 项目 6 信号发生器电路的设计制作	133
模块 6.1 存储器	134
6.1.1 只读存储器	134
6.1.2 随机存取的存储器	139
模块 6.2 数/模与模/数转换	143
6.2.1 数/模转换器	143
6.2.2 模/数转换器	148
模块 6.3 项目的实施	155
项目小结	158
习题六	159
 ► 项目 7 数字频率计的设计制作	161
模块 7.1 数字电路系统设计制作方法	162
7.1.1 数字电路系统设计与制作的一般方法	162
7.1.2 数字电路系统的安装与调试	164
模块 7.2 项目的实施	166
7.2.1 电路设计	166
7.2.2 频率计的制作与调试	170
项目小结	171
习题七	172
 ► 附录	173
 ► 参考文献	184

绪 论

电子电路中的信号是用来完成某些有用功能的电流变量或电压变量的总称。模拟信号和数字信号是电子电路中传递和处理的两类基本电信号。处理模拟信号的电路称为模拟电路；处理数字信号的电路称为数字电路。研究处理以及应用相关数字信号、数字器件以及数字电路的技术称为数字电子技术。数字电子技术已被广泛地应用于人们的生产、生活中，小到数字表、电子秤、数字电视、数码相机，大到“神舟十号”载人飞船，无处不体现着数字电子技术的应用。数字电子技术对电子产品的小型化、处理速度的快速化、通话效果的清晰化以及网络安全化等起着举足轻重的作用，它渗透在人们每时每刻的生活、学习、工作中，了解与掌握数字电子技术的相关知识意义深远。

1. 数字信号与数字电路

模拟信号的特点是在时间上和幅度上都是连续变化的电信号，如图 0-1 (a) 所示。自然界中绝大多数物理量的变化都是平滑、连续的，如声音、温度、压力、湿度等，这些物理量通过传感器变成电信号后，其电信号的数值相对于时间的变化过程也是平滑的、连续的，它们都是模拟信号。用来产生、传递、加工和处理这些模拟信号的电路，如放大器、滤波器、信号发生器等都是模拟电路。

数字信号又称脉冲信号，这种信号在时间和幅度上都是离散的电信号，如只有高、低电平跳变的矩形脉冲信号，如图 0-1 (b) 所示。常见的数字信号波形还有锯齿波、三角波、尖峰波、阶梯波等。但数字电路中常用到的脉冲波形通常为矩形波。能产生、传递、加工和处理数字信号的电路，如脉冲信号的产生、放大、整形、传送、控制、记忆、计数电路，计算机中的存储器电路等都是数字电路。

数字信号在时间和数值上均是离散的，反

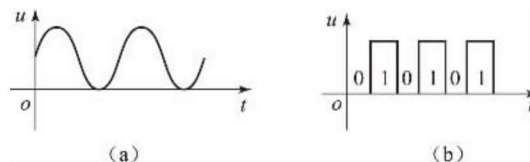


图 0-1 模拟信号和数字信号示例
(a) 模拟信号 (b) 数字信号

映在电路上具有高电位和低电位两种状态，高电位也称为高电平，低电位也称为低电平。在实际数字电路中，高电平通常为 $+3.5\text{ V}$ 左右，低电平通常为 $+0.3\text{ V}$ 左右。为了分析方便，在数字电路中分别用 1 和 0 来表示高电平和低电平。用 1 表示高电平，0 表示低电平，称为正逻辑；用 0 表示高电平，1 表示低电平，称为负逻辑。本书中采用的均是正逻辑。这里的 0 和 1 不是十进制中的数字，不代表大小，而是逻辑 0 和逻辑 1，因而称为二值数字逻辑。

在数字电路中，电路的状态以及输入、输出信号的状态均只有两种可能，即 1 态和 0 态，而数字电路研究的主要问题就是输出信号的状态与输入信号之间的关系，由于这种关系是一种因果关系，也就是所谓的逻辑关系，所以数字电路又称为逻辑电路。

在数字电路中，常用二进制数来量化连续变化的模拟信号，这样便于存储、分析或传输。

2. 数字电路的特点

与模拟电路相比，数字电路具有以下显著的特点。

1) 结构简单、便于集成化

数字电路的信号只有两种不同的状态，通常用晶体管的截止、饱和两种不同的状态来实现。因此数字电路的基本单元电路比较简单，对电路中各元器件参数的精度要求不高，并允许有较大的分散性，只要能区分高电平和低电平就可以了，从而可以将很多基本单元电路集成到一块芯片上，便于集成制造和系列化生产。

2) 数字电路工作可靠性高、抗干扰能力强

由于数字电路传输、加工和处理的都是二值逻辑电平，只有环境干扰相当强才能改变信号的状态。数字电路还可以用增加二进制数的位数来提高电路的运算精度。因此，数字电路的抗干扰能力强，电路工作可靠。

3) 便于长期存储、保密性好、使用方便

数字电路中的二值信号具有便于长期存储的特点，使大量的信号资源得以妥善保存，并且容易调出，使用方便。另外，在数字电路中进行加密处理，使可贵的信息资源不易被窃取。

4) 数字电路能对数字信号进行各种逻辑运算

数字电路不仅能完成算术运算，还可以完成逻辑运算，具有逻辑推理和逻辑判断的能力，在各种数控装置、智能仪表以及数字电子计算机等现代科技产品制造中得到广泛应用。

3. 数字电路的分类与发展

1) 数字电路的分类

根据数字电路的组成结构不同，可分为分立元器件数字电路与集成电路两类。分立元器件数字电路是指由分立元器件实现的电路，现在已不常用。广泛使用的集成电路又分为小规模 (SSI)、中规模 (MSI)、大规模 (LSI) 和超大规模 (VLSI) 集成电路，其规模的大小是根据每个芯片上集成的元器件的多少而定的，一般由几千个到几万个甚至更多，如表 0-1 所示。

集成电路从应用角度又可分为通用型和专用型两大类。通用型是指已被定型的标准化、系列化产品，适用于各种不同的数字电路。专用型是指为特殊用途专门设计、具有复杂而完整的特定功能的产品，只适用于专用的数字电路，一般很难在其他场合应用。典型的专用型数字集成电路有计算机中的存储器芯片 (RAM、ROM)、微处理器芯片 (CPU) 及语音芯片等。

表 0-1 数字集成电路分类表

集成电路分类	集成度	电路使用范围
小规模 (SSI)	1 ~ 10 门/片 10 ~ 100 元器件/片	逻辑单元电路: 逻辑门、触发器
中规模 (MSI)	10 ~ 100 门/片 100 ~ 1000 元器件/片	逻辑功能部件: 编码器、译码器、计数器、寄存器、比较器、运算器、选择器和转换器等
大规模 (LSI)	> 100 门/片 > 1000 元器件/片	数字逻辑系统: 存储器、中央控制器、串并行接口电路
超大规模 (VLSI)	> 1000 门/片 > 10 万元器件/片	高集成度数字逻辑系统: 在一个芯片上集成一个完整的微处理器

通用型数字集成电路又有两种类型。一种是逻辑功能固定的标准化、系列化产品; 目前常见的中、小型数字集成电路大多属于这一种。利用这些产品可以组成更为复杂的数字系统, 但当系统变复杂以后, 电路体积会很庞大, 电路可靠性也降低。通用型数字集成电路的另一种类型便是可编程逻辑器件 (PLD), 其内部包含了大量的基本逻辑单元电路, 通过写入编程数据, 可以实现所需要的逻辑功能。它具有像专用集成电路可靠性高、体积小、能满足各种专门用途的特点, 同时又可以作为电子产品生产的集成电路。

根据电路使用半导体器件类型的不同又分为双极型和单极型两种。双极型电路一般由晶体三极管组成, 而单极型电路主要由场效应管组成。数字器件的内部组成并不影响人们对它的使用, 只是要注意不同器件组成的数字电路对使用环境的要求有所不同。例如, 单极型电路因对静电敏感, 故在使用过程中要采取防静电措施, 如要戴防静电手环、用防静电烙铁、铺防静电胶垫以及使用防静电包装袋等。

根据电路的输出信号与输入信号之间的关系, 数字电路也可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。组合逻辑电路的输出只与当前的输入有关, 而与电路原来的状态和时间无关; 而时序逻辑电路不仅与时间有关, 还与原来的电路状态有关, 它们共同决定了时序逻辑电路的输出, 具有记忆功能。在实际电路中两者常常结合起来使用, 组合逻辑电路和时序逻辑电路是各种数字系统和数字设备的基本部件。

2) 数字电路的发展

数字电路从分立元器件、小规模集成电路发展到超大规模集成电路, 其工作速度越来越快, 耗电量越来越低。加工工艺也从最初的手工焊接发展到自动化的表面贴装技术 (SMT), 贴装精度小于 $\pm 0.1 \text{ mm}$, 而数字器件的管脚可以更细。我国目前已有能力设计、制造先进的超大规模集成电路, 完全靠进口的时代已经一去不复返了。

数字电路是电子技术的最重要分支, 由于数字电路相对于模拟电路有一系列优点, 使它的应用十分广泛, 而且还在不断发展。它不仅应用于计算机、通信、雷达、自动控制技术等方面, 而且在核物理、航天、激光、医药等各个技术领域的控制设备和数字测量中, 也发挥着重要的作用, 对现代科技、工农业生产及人类社会生活的各个领域产生着越来越重要的影响。

项目 1

电子液位控制器的设计制作

在日常生活和工业生产中，很多种应用电路都通过逻辑门电路和其他一些元器件配合构成，用来完成相应的功能。电子液位控制器是用在存储液体或液塔中，能对液位进行监测，当液位达到一定位置时即时报警并控制泵电动机转动，它是逻辑门电路在控制方面的应用。通过本项目的设计制作，将达到如下目标。

知识目标

- (1) 了解数的进制的概念，掌握二进制、八进制、十六进制、十进制的表示方法及其之间的相互转换。
- (2) 了解码制的概念，掌握几种常见码制表示方法。
- (3) 掌握三种基本逻辑关系及相应的复合逻辑关系，能熟练运用真值表、逻辑式、逻辑图来表示逻辑函数。
- (4) 了解逻辑代数的基本规则，能熟练运用卡诺图化简逻辑函数。
- (5) 理解常用逻辑门的逻辑功能、图形符号，掌握 TTL 集成逻辑门电路及 CMOS 集成逻辑门电路的逻辑功能。
- (6) 了解 TTL 集成门电路与 CMOS 集成门电路的使用注意事项。

技能目标

- (1) 能分析各种常见逻辑门的逻辑功能。
- (2) 能根据时序图、真值表写逻辑表达式。
- (3) 能组装基本逻辑门电路，并能进行逻辑功能测试。
- (4) 能用基本门电路进行简单数字电路的设计。

项目任务

储存液体的液箱或液塔共设置四段位置高度，用灯的亮灭显示液位达到的高度段，当液体达到相应位置高度时，对应指示灯亮。当液箱无液或液位很低（低于第一段位置高度）时，三个指示灯均灭，表示要注液；当液位达到第二段高度位置时，一个指示灯亮；当液位达到第三段高度位置时，两个指示灯亮；当液位达到最高位置时（第四段位置高度），三个指示灯均亮并发出报警信号，同时泵电动机自动停转，关闭注液水泵。用逻辑门电路设计制作该液位控制器，满足上述控制要求。

模块 1.1 常用数制及转换

在日常生活中，人们习惯用十进制，而在计算机、微处理器、数字电路中广泛使用的是二进制，但用二进制表示时，所需位数太多，不太方便，所以也常采用十六进制和八进制。对于任何一个数，可以用不同的进制来表示，本模块将介绍几种常用进制的表示方法及它们之间的相互转换，另外还介绍常用的码制。

1.1.1 数制

计数时，要用多位数码，把多位数码中每一位的构成方法和低位向高位的进位规则称为数制。在学习各种数制特点前，先介绍两个基本概念：一个是“基数”，就是在该进位制中可能用到的数码个数；另一个是“权”，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，权是一个幂。基数和权是进位制的两个基本要素。

1. 十进制

在十进制中，用 0, 1, 2, ..., 9 这 10 个不同的数码按照一定的规律排列起来表示数值的大小，是以 10 为基数的计数体制。当数超过 9 就要向高位进位，其计数规律是“逢十进一”，故称为十进制。十进制数的数码处于不同的位置时，它所表示的数值也不相同。例如，十进制数 893 可表示成

$$(893)_D = 8 \times 10^2 + 9 \times 10^1 + 3 \times 10^0$$

括号加下标“D”表示十进制数。等式右边的 10^2 、 10^1 、 10^0 这些 10 的幂表示的是十进制数各相应位的“权”，10 是基数。不难看出，各位的数值就是该位数码（系数）乘以相应的权，每位的数值加起来就得到相应的数。按此规律，任意一个十进制数 $(N)_D$ 都可以写成按权展开式，即

$$\begin{aligned} (N)_D &= K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 + K_{-1} \times 10^{-1} + \cdots \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 10^i \end{aligned}$$

式中， K_i 代表第 i 位的系数，可取 0 ~ 9 这 10 个数码中的任一个； 10^i 为第 i 位的权； i 为 $-\infty$ 到 $+\infty$ 之间的任意整数。

2. 二进制

二进制常用 B 表示, 如二进制数 1100 常表示为 $(1100)_B$ 。与十进制数相似, 二进制数的特点如下。

- (1) 二进制数只有两个数码, 为 0、1, 即以 2 为基数的计数体制。
- (2) 二进制计数规律为逢二进一, 借一当二, 位权是 2 的整数幂。
- (3) 任意一个二进制数都可以写成以 2 为底的幂之和的形式, 即按权展开相加。

例如, 一个二进制数 $(101101)_B$ 可表示为

$$\begin{aligned}(101101)_B &= 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 32 + 8 + 4 + 1 \\ &= (45)_D\end{aligned}$$

此表达式也称为按权展开式。任意一个二进制数 $(N)_B$ 可表示为

$$\begin{aligned}(N)_B &= K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 + K_{-1} \times 2^{-1} + \cdots \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 2^i\end{aligned}$$

式中, i 同样为 $-\infty$ 到 $+\infty$ 之间的任意整数; K_i 为第 i 位的系数, 即 0 或 1; 2^i 则为第 i 位的“权”数。如一个带小数的二进制数 101.101 可按权展开表示为

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

二进制数的运算规则如下。

加法: $0+0=0$ $0+1=1+0=1$ $1+1=10$

乘法: $0 \times 0=0$ $0 \times 1=1 \times 0=0$ $1 \times 1=1$

通过上述叙述可知, 二进制数比较简单, 只有 0 和 1 两个数码, 并且算术运算也很简单, 所以二进制数在数字电路中获得广泛应用。但是二进制数也有缺点, 用二进制表示一个数时, 位数多, 读写不方便, 而且也难记忆。

3. 八进制

八进制数是以 8 为基数的计数体制, 它用 0, 1, 2, $\cdots$, 7 这 8 个数码表示, 采用“逢八进一”的计数规律, 各位的权为 8 的幂。3 位二进制码可用一位八进制码表示。任意一个八进制数 $(N)_O$ 可写成按权展开式, 即

$$\begin{aligned}(N)_O &= K_{n-1} \times 8^{n-1} + K_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + K_1 \times 8^1 + K_0 \times 8^0 + K_{-1} \times 8^{-1} + \cdots \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i 8^i\end{aligned}$$

式中, 下标“O”表示八进制数; K_i 为第 i 位的系数, 是 0~7 这 8 个数码之一; 8^i 为第 i 位的“权”数。例如, 一个八进制数 $(132.4)_O$ 可展开表示为

$$(132.4)_O = 1 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} = (90.5)_D$$

4. 十六进制

十六进制数使用 0~9、A、B、C、D、E、F 共 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, 采用“逢十六进一”的计数规律, 基数为 16, 各位

的权为 16 的幂。4 位二进制码可用一位十六进制码表示。

任意一个十六进制数 $(N)_H$ 可以写成按权展开式，其表达式为

$$\begin{aligned}(N)_H &= K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + K_1 \times 16^1 + K_0 \times 16^0 + K_{-1} \times 16^{-1} + \cdots \\ &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 16^i\end{aligned}$$

式中，下标“H”表示十六进制数； K_i 为第 i 位的系数，是 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 可按权展开表示为

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

请读者熟记不同的 4 位二进制数对应的十进制数，一共有 16 个（见表 1-1），以及这 4 位二进制数与 1 位十六进制数之间的对应关系，这对以后专业课的学习非常有益。

表 1-1 几种数制对照表

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
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10

1.1.2 数制转换

十进制是人们日常生活中惯用的计数体制，二进制是数字电路中使用的计数体制，而八进制和十六进制则是在数字电路中辅助二进制计数所用的计数体制。十进制、二进制、十六进制使用的场合不同，可以利用其特点进行相互转换。

1. 二进制、八进制、十六进制数转换为十进制数

将一个二进制、八进制或十六进制数转换成十进制数，只要写出该进制数的按权展开式，然后按十进制数的计数规律相加，就可得到所求的十进制数。

例 1-1 将二进制数 $(1110.011)_B$ 转换成十进制数。

$$\begin{aligned}\text{解: } (1110.011)_B &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= 8 + 4 + 2 + 0.25 + 0.125 \\ &= (14.375)_D\end{aligned}$$

例 1-2 将八进制数 $(156)_O$ 转换成十进制数。

$$\text{解: } (156)_O = 1 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 6 \times 8^0 = (110)_D$$

例 1-3 将十六进制数 $(6C.E)_H$ 转换成十进制数。

$$\text{解: } (6C.E)_H = 6 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 14 \times 16^{-1} = (108.875)_D$$

2. 十进制转换为二进制、八进制、十六进制数

在将十进制数转换成二进制、八进制、十六进制数时，可将整数部分和小数部分分开进行。

十进制的整数部分分别采用“除 2 逆向取余法”“除 8 逆向取余法”“除 16 逆向取余法”，即十进制数除基数 R 逆向取余，直到商为 0，便可求得二、八、十六进制数的各位数码 $K_{n-1}, K_{n-2}, \dots, K_1, K_0$ 。注意最先得出的余数对应相应进制的最低位。

例 1-4 将十进制数 $(35)_D$ 转换为二进制数。

解: 采用“除 2 取余法”。

2	35	余1, $K_0=1$	↑ 低位 高位
2	17	余1, $K_1=1$	
2	8	余0, $K_2=0$	
2	4	余0, $K_3=0$	
2	2	余0, $K_4=0$	
2	1	余1, $K_5=1$	
	0		

最后的商为 0。于是得

$$(35)_D = (K_5 K_4 K_3 K_2 K_1 K_0)_B = (100011)_B$$

例 1-5 将 $(139)_D$ 转换成十六进制数。

解:

16	139	余11, $K_0=B$	↑ 低位 高位
16	8	余8, $K_1=8$	
	0		

得: $(139)_D = (8B)_H$

另外, 对于一个十进制数, 要转换成 R 进制, 可根据数学知识将其分解成不同的 R 的幂次的组合, 继而将其规范成 R 进制表示的形式, 从而得出 R 进制的各位数码。注意没有出现的幂次则表示其位码 K_i 为 “0”。

例 1-6 将下列十进制数转换成二进制数。

$$(55)_D = 32 + 23$$

$$= 32 + 16 + 7$$

$$= 32 + 16 + 4 + 2 + 1$$

$$= 2^5 + 2^4 + 2^2 + 2^1 + 2^0$$

$$= 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

$$= (110111)_2$$

$$(238)_D = 128 + 64 + 32 + 8 + 4 + 2$$

$$= 1 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$$

$$= (11101110)_B$$

十进制的小数部分可用 “乘基数 R 取整” 法转换成相应的 R 进制数, 即将这个十进制数小数部分连续乘基数 R , 直至为 0 或满足所要求的误差为止。每次乘基数 R 所得整数的组合便是所求的二进制数。注意最先得出的整数对应 R 进制的最高位。

例 1-7 将 $(0.375)_D$ 转换为二进制数。

	整数部分	对应 K_i
0.375		
$\times \quad 2$	0	$K_{-1} = 0$
0.750		
0.750		
$\times \quad 2$	1	$K_{-2} = 1$
1.500		
0.500		
$\times \quad 2$	1	$K_{-3} = 1$
1.000		

故 $(0.375)_D = (0.011)_B$ 。

例 1-8 将 $(0.23)_D$ 转换为二进制数 (保留 3 位小数)。

	整数部分	对应 K_i
0.23		
$\times \quad 2$	0	$K_{-1} = 0$
0.46		
0.46		
$\times \quad 2$	0	$K_{-2} = 0$
0.92		
0.92		
$\times \quad 2$	1	$K_{-3} = 1$
1.84		

故 $(0.23)_D = (0.001)_B$ 。