



国家示范性高职院校建设项目成果
中国电子教育学会推荐教材
全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列

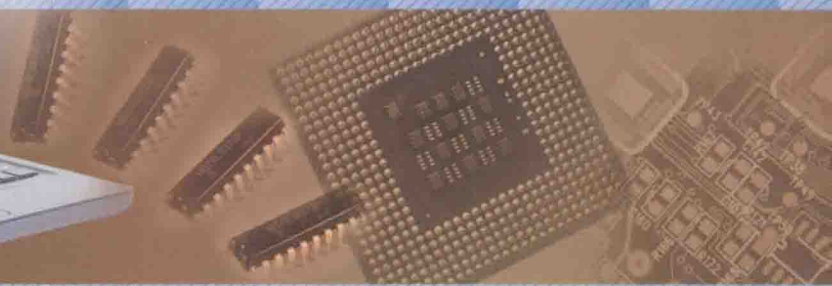
教学做
一体化教材

数字电子技术及应用

◎王 苹 主编

◎沈 璐 曾贵苓 梁 薇 副主编

- 数字集成芯片识别、功能表读解
- 集成逻辑门电路的功能分析与测试
- 编码、译码、LED显示电路分析制作与调试
- 计数分频电路分析制作与调试
- 振荡电路的制作与调试
- 半导体存储器工作原理及应用
- 数字钟的制作与调试



- ◆ 以能力培养为重点，以项目为导向，结合企业岗位的实际技术需求进行编写
- ◆ 提供10个典型项目和1个综合项目，使学生能够较快地学习和应用数字电子技术
- ◆ 设有职业导航、教学导航、知识分布网络、知识梳理与总结，有利于牢固掌握知识与技能
- ◆ 配有免费的电子教学课件、习题参考答案、实训参考原理图、材料清单等，便于教学



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国家示范性高职院校建设项目成果
中国电子教育学会推荐教材
全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列



教学做
一体化教材

数字电子技术及应用

王苹 主编

沈璐 曾贵苓 梁薇 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书根据国家示范性高职院校项目式课程教学改革精神,结合作者多年的职业教育教学经验和企业岗位的实际技术需求进行编写。本书以项目为导向、以能力培养为重点,通过对学生的职业能力(数字集成芯片识别,功能表读解,数字电路的分析设计、制作与调试能力)及社会能力的分析,对课程教学内容进行优化与重构,主要内容包括集成逻辑门电路的功能分析与测试,编码、译码、LED显示电路分析制作与调试,计数分频电路分析制作与调试,振荡电路的制作与调试,半导体存储器,数字钟的设计、制作与调试等。全书内容由简单到复杂、由部分到整体进行介绍,反映学生就业后的工作需求和岗位认知过程。

本书为全国高职高专院校数字电子技术课程的教材,也可作为应用型本科、成人教育、自学考试、电视大学、中职学校、培训班的教材,以及电子与电气工程技术人员的工具参考书。

本书提供免费的电子教学课件、练习题参考答案,详见前言。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术及应用/王苹主编. —北京:电子工业出版社,2011.8

全国高职高专院校规划教材.精品与示范系列

ISBN 978-7-121-13836-2

I. ①数… II. ①王… III. ①数字电路—电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第112573号

策划编辑:陈健德(E-mail:chenjd@phei.com.cn)

责任编辑:陈健德

印 刷:涿州市京南印刷厂

装 订:涿州市桃园装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:13.75 字数:352千字

印 次:2011年8月第1次印刷

定 价:25.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

职业教育 继往开来 (序)

自我国实行对内搞活、对外开放的经济政策以来,各行各业都获得了前所未有的发展。随着我国工业生产规模的扩大和经济发展水平的提高,教育行业受到了各方面的重视。尤其对高等职业教育来说,近几年在教育部和财政部实施的国家示范性院校建设政策鼓舞下,高职院校以服务为宗旨、以就业为导向,开展工学结合与校企合作,进行了较大范围的专业建设和课程改革,涌现出一批示范专业和精品课程。高职教育在为区域经济建设服务的前提下,逐步加大校内生产性实训比例,引入企业参与教学过程和质量评价。在这种开放式人才培养模式下,教学以育人为目标,以掌握知识和技能为根本,克服了以学科体系进行教学的缺点和不足,为学生的顶岗实习和顺利就业创造了条件。

在高职教育新的教学模式下,各院校不断对专业建设和课程设置进行改革,教学改革的成果最终要反映在教学过程中,其中主要的体现形式为教材创新。电子工业出版社作为职业教育教材出版大社,具有优秀的编辑人才队伍和丰富的职业教育教材出版经验,有义务、有能力与广大的高职院校密切合作,参与创新职业教育的新方法,共同出版反映最新教学改革成果的新教材,为培养符合当今社会需要的、合格的职业技能人才而努力。

近期由我们组织策划和编辑出版的“全国高职高专院校规划教材·精品与示范系列”,主要具有以下几个特点。

(1) 本系列教材的课程研究专家和作者主要来自于教育部和各省市评审通过的多所示范院校。他们对教育部倡导的职业教育教学改革精神理解得透彻准确,并且具有多年的职业教育教学经验以及工学结合、校企合作经验,能够准确地对职业教育相关专业的知识点和技能点进行横向与纵向设计,能够把握创新型教材的出版方向。

(2) 本系列教材的编写以多所示范院校的课程改革成果为基础,体现重点突出、实用为主、够用为度的原则,采用项目驱动的教学方式。学习任务主要以本行业工作岗位群中的典型实例经提炼后进行设置,项目实例较多,应用范围较广,图片数量较大,还引入了一些经验性的公式、表格等,文字叙述浅显易懂。增强了教学过程的互动性与趣味性,对全国许多职业教育院校具有较大的适用性,同时对企业技术人员具有可参考性。

(3) 根据职业教育的特点,本系列教材在全国独创性地提出“职业导航、教学导航、知识分布网络、知识梳理与总结”及“封面重点知识”等内容,有利于老师选择合适的教材并有重点地开展教学过程,也有利于学生了解该教材相关的职业特点和对教材内容进行高效率的学习与总结。

(4) 根据每门课程的内容特点,为方便教学过程我们为教材配备相应的电子教学课件、习题答案与指导、教学素材资源、程序源代码、教学网站支持等立体化教学资源,各位老师在华信教育资源网(www.huaxin.edu.cn或www.hxedu.com.cn)注册后可直接下载。

这套新型教材得到了许多高职院校老师的支持和欢迎,为了使职业教育能够更好地为区域经济和企业服务,我们热忱欢迎各位职教专家和老师提出意见或建议,如果您有新教材的编写思路请与我们联系(邮箱:chenjd@phei.com.cn,电话:010-88254585),共同为我国的职业教育发展尽自己的责任与义务!

电子工业出版社高等职业教育分社

前言



随着我国电子信息行业的快速发展,许多职业岗位对就业人员的数字电子技术与技能提出了新的要求,因此,高职高专院校相关专业的学生都要认真学好这门课程,扎实掌握数字电子技术的基本原理,熟练进行电子技术相关的职业技能训练,为学好后续课程和顺利就业打好坚实基础。本书根据国家示范性高职院校项目式课程教学改革精神,结合作者多年的职业教育教学经验和企业岗位的实际技术需求进行编写。

本书以项目为导向、以能力培养为重点,通过对学生的职业能力(数字集成芯片识别、功能表读解,数字电路的分析设计、制作与调试能力)及社会能力的分析,对课程教学内容进行优化与重构。全书主要内容包括集成逻辑门电路的功能分析与测试,编码、译码、LED显示电路分析制作与调试,计数分频电路分析制作与调试,振荡电路的制作与调试,半导体存储器,数字钟的设计、制作与调试等。全书配有10个典型项目和一个综合项目,建议采用任务驱动——教、学、做一体化教学模式,通过项目任务训练、教师引导、学生自主学习、重点难点师生共同讨论与讲解等形式,使学生牢固掌握数字电子技术的知识与技能。各院校可结合自身的教学环境条件选择适合的教学形式和项目任务,实训项目可通过数字电路实验箱来完成。

针对学生学习中存在的问题(如主动性不强、兴趣不高、目标不明确等),结合行业职业岗位实际情况及课程知识点要求,精心挑选具有代表性的11个项目,充分调动和激发学生自主获取相关知识的积极性、主动性,并按照实用性、趣味性和可操作性的原则分配在各学习单元中。以项目任务为引导,展开理论与实训教学,学生在完成实训项目的同时,也完成了单元知识的学习,同时基本职业能力(元器件认知、焊接、布局布线、装配、调试、检测、维修)等得到了培养,项目任务的完成需要小组成员的共同努力,相互协作,有利于培养学生的团队精神。通过本课程教学小组开展多轮的教学实践,收到很好的教学效果,明显提高学生的学习积极性以及自主学习能力,增强学生的实际动手能力,符合职业教育以“职业能力和素质培养为中心”的目标要求。

本书各学习单元都设有教学导航,指出本单元的知识重点与难点、必须掌握的知识及职业技能、建议教学方法等;每小节都设有知识分布网络,介绍本节知识点的层次和相互联系;各学习单元结束后设有知识梳理与总结,并有一定数量的自我检测题和练习题,以便学生复习与巩固。

本书由芜湖职业技术学院王苹副教授任主编并进行全书统稿,沈璐、曾贵苓和梁薇任副主编,徐琬婷、吴尚、胡群、余云飞、范秉峰、陈蕊参与编写。全书由张学亮教授、余鸣副教授进行主审,并对书稿的编写思路及内容设置提出许多宝贵意见和建议,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。

为方便教师教学和学生学

编者



职业导航

前期知识

电路基础知识

模拟电路基础

课程内容

集成逻辑门电路的功能分析与测试——常用集成门电路 74 系列芯片识别与好坏判断

计数分频电路分析制作与调试——0~59 (0~23) 加法计数显示电路的制作与调试等

半导体存储器——流水灯控制电路的设计、制作与调试

编码、译码、LED显示电路分析制造与设计——键控(优先)0~9 数字显示电路的制作与调试等

振荡电路的制作与调试——50Hz多谐振荡器的制作与调试

数字钟的设计、制造与调试

依据实用性、趣味性和可操作性原则,由简单到复杂、由部分到整体,形成反映工作和认知过程的11个项目任务,在完成项目任务的同时也完成了单元知识的学习

职业岗位

电子产品装配
调试与检测

电子设备维护
与技术支持

电子产品
辅助设计

电子产品营
销与服务

目 录



学习单元 1 集成逻辑门电路的功能分析与测试	1
教学导航	1
1.1 数字电路基本概念	2
1.1.1 数字信号和数字电路	2
1.1.2 数字电路的特点	2
1.1.3 数字电路的分类	3
1.2 数制和编码	3
1.2.1 数制	4
1.2.2 数制之间的相互转换	5
1.2.3 码制	8
1.3 门电路及逻辑功能	10
1.3.1 与逻辑和与门	10
1.3.2 或逻辑和或门	12
1.3.3 非逻辑和非门	14
1.3.4 常见的门电路	15
实训项目 1 74 系列集成逻辑门电路的识别、功能测试	19
1.4 门电路结构及特性参数测试	24
1.4.1 二极管、三极管、场效应管的开关特性	24
1.4.2 分立元件门电路	27
1.4.3 集成逻辑门电路	29
1.4.4 可以线与的集成逻辑门电路	34
1.4.5 集成门电路的外特性与参数	38
1.4.6 CMOS 与 TTL 之间的接口电路	46
1.4.7 集成逻辑门电路使用注意事项	47
实训项目 2 TTL 与非门 74LS00 的参数测试	48
1.5 逻辑功能描述方式及相互转换	52
1.5.1 逻辑功能的描述方式	52
1.5.2 逻辑功能描述方式之间的相互转换	54
1.6 逻辑函数及化简法	59
1.6.1 逻辑代数	59
1.6.2 逻辑函数的代数化简法	61
1.6.3 逻辑函数的卡诺图化简法	62
1.6.4 具有无关项的逻辑函数的化简	65

知识梳理与总结	66
自我检测题 1	67
练习题 1	68
学习单元 2 编码、译码、LED 显示电路分析制作与调试	72
教学导航	72
2.1 组合逻辑电路的概念与特点	73
2.2 组合逻辑电路的分析与设计	73
2.2.1 组合逻辑电路的分析方法	74
2.2.2 组合逻辑电路的设计方法	76
实训项目 3 74LS00、74LS86 组合逻辑电路的设计及逻辑功能分析	82
2.3 编码器	83
2.3.1 二进制编码器	84
2.3.2 优先编码器	85
2.4 译码器	87
2.4.1 二进制译码器	87
2.4.2 二-十进制 (BCD) 译码器	89
2.4.3 数码显示译码器	90
2.4.4 译码器的应用	93
实训项目 4 键控 0~9 数字显示电路的制作与调试	95
2.5 数值比较器	96
2.6 数据选择器	99
2.7 组合逻辑电路中的竞争冒险	103
知识梳理与总结	105
自我检测题 2	105
练习题 2	106
学习单元 3 计数分频电路分析制作与调试	108
教学导航	108
3.1 集成触发器	109
3.1.1 基本 RS 触发器	109
3.1.2 钟控触发器	112
3.1.3 不同类型触发器之间的转换	124
实训项目 5 同步型触发器逻辑功能的分析与测试	126
实训项目 6 用 74LS74、74LS112 构成 T、T' 触发器	131
3.2 时序逻辑电路	133
3.2.1 时序逻辑电路的结构与特点	134
3.2.2 时序电路的分析步骤	135
3.3 寄存器和移位寄存器	137
3.3.1 寄存器	137
3.3.2 移位寄存器	138
实训项目 7 霓虹灯控制电路的制作与调试	140

3.4 计数器	143
3.4.1 二进制计数器	143
3.4.2 十进制计数器	149
3.4.3 N 进制计数器	154
实训项目 8 0~59 (0~23) 加法计数显示电路的制作与调试	159
知识梳理与总结	160
自我检测题 3	161
练习题 3	162
学习单元 4 振荡电路的制作与调试	165
教学导航	165
4.1 555 定时器	166
4.1.1 555 定时器的电路结构	166
4.1.2 555 定时器的功能	167
4.2 555 定时器的应用电路	168
4.2.1 用 555 定时器构成单稳态触发器	168
4.2.2 用 555 定时器构成施密特触发器	171
4.2.3 用 555 定时器构成多谐振荡器	174
实训项目 9 50 Hz 多谐振荡器的制作与调试	177
知识梳理与总结	178
自我检测题 4	178
练习题 4	179
学习单元 5 半导体存储器	180
教学导航	180
5.1 只读存储器 (ROM)	181
5.1.1 只读存储器的结构与分类	181
5.1.2 固定只读存储器 (ROM)	182
5.1.3 可编程只读存储器 (PROM)	183
5.1.4 可擦写只读存储器	184
5.2 随机存取存储器 (RAM)	185
5.2.1 RAM 的结构	185
5.2.2 存储单元	186
实训项目 10 流水灯控制电路的设计、制作与调试	189
知识梳理与总结	192
自我检测题 5	192
练习题 5	193
综合项目 数字钟的设计、制作与调试	194
附录 A 电阻的色环标志法	202
附录 B 常用数字集成电路汇编	204
附录 C 实训项目工作报告	209
参考文献	210

学习单元 1

集成逻辑门电路的 功能分析与测试

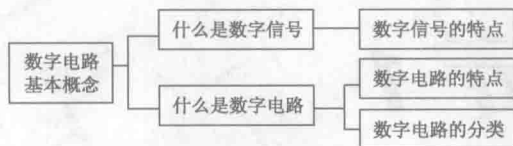
教学导航

实训项目 1	74 系列集成逻辑门电路的识别、功能测试
实训项目 2	TTL 与非门 74LS00 的参数测试
建议学时	4 天 (24 学时)
完成项目任务 所需知识	1. 与门、或门、非门、与非门、或非门、与或非门、异或门、同或门的逻辑功能、功能描述方式及相互转换; 2. 半导体器件开关作用和开关特性; 3. CMOS 和 TTL 电路结构及工作原理、外特性 (对输入特性 TTL 结构与 COMS 结构的不同点)、主要参数、使用方法和注意事项; 4. 线与的概念, OD 门、OC 门、三态门、CMOS 传输门的结构、功能及功能描述方式; 5. 逻辑函数化简
知识重点	集成门电路的逻辑功能及功能描述方式的转换, 集成门电路的逻辑功能测试
知识难点	TTL 集成门电路与 COMS 集成门电路结构特点及不同点
职业技能训练	能读、识常用 74 系列、4000 系列等集成芯片并能进行功能测试及好坏判断 1. 能正确辨识 TTL 及 CMOS 集成芯片的种类; 2. 能利用计算机网络等媒介, 查找 74 系列、4000 系列等集成芯片的资料, 能读懂功能表, 能根据引脚排列图知道引脚含义; 3. 能使用万用表、示波器进行 IC 芯片的好坏判别与参数测试; 4. 能阅读简单的英文技术资料; 5. 培养团队合作精神
推荐教学方法	从项目任务出发, 通过课堂听讲、教师引导、小组学习讨论、实际芯片功能查找、功能测试, 即“教、学、做”一体, 掌握完成项目任务所需知识点和相应的技能



1.1 数字电路基本概念

知识分布网络



1.1.1 数字信号和数字电路

在自然界中有许多物理量，它们的性质各不相同，就其变化的规律而言，可以分为数字量和模拟量。相应的电信号就称为数字信号和模拟信号。

模拟信号是指在时间上和数值上都是连续变化的信号，其电压（或电流）值可以在一定范围内任意取值。例如，工业控制系统中常见的几大参数：温度、压力、流量、速度等，电视的图像和伴音信号等。

传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。

数字信号是指在时间上和数值上都是断续变化的离散信号，例如，在生产中自动记录零件个数的计数信号。

传输、处理数字信号的电路称为数字电路。

1.1.2 数字电路的特点

数字信号采用二值信息“0”和“1”来表示两个相对的状态，如脉冲的有、无或电平的高、低。例如：若用“1”表示高电平，则“0”就表示低电平；若用“0”表示有脉冲，则“1”就表示无脉冲。“0”和“1”在这里只表示两种相对立的状态，没有数值上的大小概念，这两个相对的状态可用电子器件的开关特性来实现，就是利用二极管、三极管、场效应管等元器件的开关特性，如完全导通表示一种状态，完全截止表示相对立的另一种状态。所以传输、处理数字信号的数字电路无论在电路结构还是研究内容、分析方法等诸多方面都与模拟电路不同。它具有如下几个特点：

（1）数字电路在稳态时，电子器件（如二极管、晶体管、场效应管）工作在饱和或截止状态，即开关状态，这两种对立的状态，分别用“0”和“1”来表示。

（2）数字电路工作可靠，抗干扰能力强。数字电路对元件的参数要求不太严格，只要能工作于饱和或截止状态，能可靠地区分出高、低电平即可。高、低电平都有一个允许的变化范围，只有当干扰信号相当强烈时，超出了允许的高、低电平范围，才有可能改变元件的工作状态，所以数字电路的抗干扰能力较强。

（3）数字电路结构简单，便于集成化。无论多么复杂的数字电路都是由几种最基本的单元电路组成的，这些最基本的单元电路，其结构比较简单。因此，数字电路便于集成化和系列化生产。

（4）在数字电路中，人们研究的主要问题是电路的输入信号的状态（0 或 1）和输出状



态(0或1)之间的逻辑关系,从而分析电路的逻辑功能。

数字电路的研究内容可以分为两大类:一类是逻辑分析(对现有的电路分析其逻辑功能);另一类是逻辑设计(根据实际需求,通过分析,设计出满足要求的逻辑电路)。

(5) 数字电路的分析工具为布尔代数和卡诺图。

(6) 数字电路不仅能完成数值运算,还能进行逻辑推理和逻辑判断。因此利用它可以制造数控装置、智能仪表、数字通信设备及电子计算机等现代化的高科技产品。

1.1.3 数字电路的分类

按照不同的分类方法,数字电路有不同的类别,常见的有以下几种分类方式。

1) 按电路的组成结构分

按电路的组成结构分,有分立元件和集成电路两类。分立元件电路基本上已被数字集成电路所取代,根据集成度不同,数字集成电路又可分为小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模(VLSI)等。

2) 按电路所用开关器件的种类分

按电路所用开关器件的种类分,可以把数字电路分为双极型和单极型电路。双极型电路有DTL、TTL、ECL、IIL和HTL等。单极型电路有NMOS、PMOS和CMOS等。

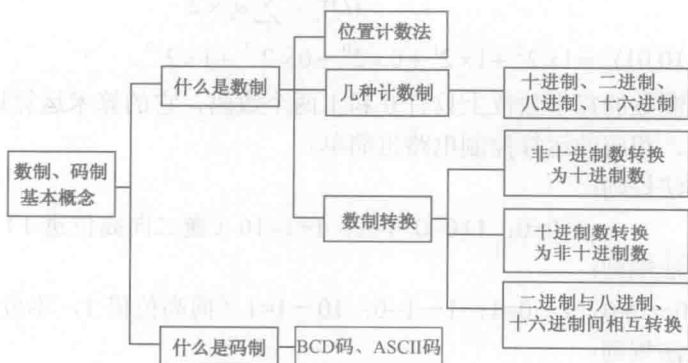
3) 按电路的逻辑功能分

按电路的逻辑功能分,数字电路可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路的输出状态只取决于当前各输入状态的组合,与先前的状态无关,即无记忆性;时序逻辑电路的输出不仅和当前的输入状态有关,而且还与以前的状态有关,即具有记忆性。

小组学习讨论:采取问题引导法,根据知识分布网络,结合课后练习题,组织学生分小组开展学习讨论。本课程的后续内容可根据教学单元组织学生开展学习讨论,不再提示。

1.2 数制和编码

知识分布网络





1.2.1 数制

数制就是计数方法,一般采用位置计数法,即将表示数字的数码从左往右排列起来,不同位置的数码有不同的位权。在日常生活和工作中最习惯用十进制数,而在数字电路中常采用二进制数,此外还有八进制和十六进制数。

1. 十进制

十进制数是以 10 为基数的计数体制,即十进制数共有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个不同的数码,通常把这些数码的个数称为基数。它的进位规则为“逢十进一”、“借一当十”。

任意一个十进制数都可以按权展开,写成以 10 为底的幂的和形式。相同的数码处于不同的位置,具有不同的值,称为权值。十进制数百位、十位、个位、十分位、百分位的权值分别为 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 。它们都是基数 10 的幂。

依次类推,一个具有 n 位整数和 m 位小数的十进制数 D 可用下式表示:

$$\begin{aligned}(D)_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 + \\ &\quad a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 10^i\end{aligned}\quad (1-1)$$

式中, a_i 为第 i 位的系数,可以是 0~9 基本数码中的任何一个。例如: $323.56 = 3 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$ 。

若用 R 代替式 (1-1) 中的 10,类推可以得到 R 进制数展开式的一般形式:

$$(D)_R = \sum a_i \times R^i \quad (1-2)$$

R 称为计数的基数; a_i 为第 i 位的系数; R^i 称为第 i 位的权。

2. 二进制

二进制数是以 2 为基数的计数体制,每一位仅有 0 和 1 两个数码;低位和相邻高位之间的进位规则是“逢二进一”、“借一当二”。

按照式 (1-2),任何一个二进制数都可以展开为:

$$(D)_2 = \sum a_i \times 2^i \quad (1-3)$$

例如: $(110.01)_2 = 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$ 。

由于二进制数的每个数位上只有 0 和 1 两个数码,它的算术运算规则相对于十进制数来说要简单得多,相应的运算控制电路也简单。

二进制加法规则:

$$0+0=0; 1+0=0+1=1; 1+1=10 \text{ (逢二向高位进 1)}$$

二进制减法规则:

$$0-0=0; 1-0=1; 1-1=0; 10-1=1 \text{ (向高位借 1, 本位成为 2)}$$

二进制乘法规则:

$$0 \times 0=0; 0 \times 1=1 \times 0=0; 1 \times 1=1$$



二进制除法规则:

$$0 \div 1 = 0; 1 \div 1 = 1$$

二进制数虽然有其自身的优点,但也有缺点。用二进制表示一个数时,往往由于位数过多,不便于读写与记忆,人们使用起来很不方便。所以,为了便于读写,在数字系统中,特别是在计算机领域常采用八进制和十六进制。

3. 八进制

八进制数是以 8 为基数的计数体制,八进制数每一位可以有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个不同的数码,它的进位规则是“逢八进一”、“借一当八”。

任何一个八进制数,可以按式(1-2)展开为:

$$(D)_8 = \sum a_i \times 8^i \quad (1-4)$$

例如: $(63.74)_8 = 6 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 7 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2}$ 。

4. 十六进制数

十六进制数是以 16 为基数的计数体制,每一位可以有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个不同的数码,其中符号 A~F 分别相当于十进制中的 10~15; 它的进位规则是“逢十六进一”、“借一当十六”。

按照式(1-2),任意一个十六进制数可以按权展开为:

$$(D)_{16} = \sum a_i \times 16^i \quad (1-5)$$

例如: $(7DE.F9)_{16} = 7 \times 16^2 + D \times 16^1 + E \times 16^0 + F \times 16^{-1} + 9 \times 16^{-2}$
 $= 7 \times 16^2 + 13 \times 16^1 + 14 \times 16^0 + 15 \times 16^{-1} + 9 \times 16^{-2}$ 。

各种不同的数制各有其优缺点,应用的场合也各不相同。由于二进制数中的 0 和 1 与数字电路中的两个相对的状态相对应,因此,二进制数在数字电路中应用十分广泛。

1.2.2 数制之间的相互转换

1. 非十进制转换为十进制

将非十进制数(二进制、八进制、十六进制数)写成按权展开的形式,相加的结果就是与之对应的十进制数。

【实例 1-1】把二进制数 11011.011 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解 } (11011.011)_2 &= 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} \\ &= (27.375)_{10} \end{aligned}$$

【实例 1-2】把八进制数 147.34 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解 } (147.34)_8 &= 1 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 7 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} \\ &= (103.4375)_{10} \end{aligned}$$

【实例 1-3】把十六进制数 4E7.C7 转换为十进制数。

$$\begin{aligned} \text{解 } (4E7.C7)_{16} &= 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 12 \times 16^{-1} + 7 \times 16^{-2} \\ &= (1255.7773)_{10} \end{aligned}$$



2. 十进制数转换为非十进制

十进制数转换为二进制、八进制和十六进制数的方法是：

(1) 整数部分采用“除基取余”法，即“除以基数、取其余数、作为系数、由低到高”。就是用原十进制数连续除以要转换的计数制的基数，如 2、8、16，每次所得的余数作为要转换的系数（数码），第一个余数为转换数码的最低位数码，最后一个余数为转换数码的最高位数码，直到商为 0 为止。

(2) 小数部分采用“乘基取整”法，即“乘基数，取整数，作系数，由高到低”。就是将原十进制纯小数部分乘以要转换的计数制的基数，如 2、8、16，取其积的整数部分作为系数（数码），剩余的纯小数部分再乘基数，先得到的整数作为转换数码小数部分的高位数码，后得到的作为低位码，直至其纯小数部分为 0 或到一定的精度为止。

【实例 1-4】将十进制数 157.375 转换二进制数。

解 (1) 整数部分转换，采用“除基取余”法，其基数为 2。

	余数	
2 157 -----	1 = a_0	最低位 (LSB)
2 78 -----	0 = a_1	
2 39 -----	1 = a_2	
2 19 -----	1 = a_3	
2 9 -----	1 = a_4	
2 4 -----	0 = a_5	
2 2 -----	0 = a_6	
2 1 -----	1 = a_7	最高位 (MSB)
0		

所以 $(157)_{10} = (10011101)_2$ 。

(2) 小数部分转换，采用“乘基取整”法。

$0.375 \times 2 = 0.75$	整数部分 = 0 = a_{-1}	最高位 (MSB)
$0.75 \times 2 = 1.5$	整数部分 = 1 = a_{-2}	
$0.5 \times 2 = 1.0$	整数部分 = 1 = a_{-3}	最低位 (LSB)

所以 $(0.375)_{10} = (0.011)_2$ 。

则 $(157.375)_{10} = (10011101.011)_2$ 。

需要指出，在十进制小数转换成二进制小数时，有可能会出现无限位，即用“乘基取整”法时纯小数部分不能为 0。在这种情况下，一般可以根据精度要求，取有限位即可。

十进制数转换为八进制数和十六进制数的方法与十进制数转换为二进制数的方法是相同的，所不同的是八进制数的基数是 8，十六进制数的基数是 16。

【实例 1-5】把十进制 157.375 转换为八进制数和十六进制数。

解 (1) 整数部分转换，采用“除基取余”法，其基数分别为 8 和 16。

八进制	十六进制
8 157 -----	16 157 -----
8 19 -----	16 9 -----
8 2 -----	0
0	



所以 $(157)_{10} = (235)_8 = (9D)_{16}$ 。

(2) 小数部分转换, 采用“乘基取整”法, 基数分别是 8 和 16。

$$0.375 \times 8 = 3.0 \quad \text{整数部分} = 3 = a_{-1}$$

$$0.375 \times 16 = 6.0 \quad \text{整数部分} = 6 = a_{-1}$$

所以 $(0.375)_{10} = (0.3)_8 = (0.6)_{16}$ 。

则 $(157.375)_{10} = (235.3)_8 = (9D.6)_{16}$ 。

3. 二进制与八进制、十六进制之间的相互转换

1) 二进制与八进制之间的相互转换

由于八进制数有 $8=2^3$ 个数码, 而三位二进制数有八种不同组合, 可以表示 8 种不同状态。所以每位八进制数可由三位二进制数构成。

二进制	000	001	010	011	100	101	110	111
八进制	0	1	2	3	4	5	6	7

二进制数转换为八进制数的方法为: 以小数点为界, 分别向左、向右每三位分为一组, 不足三位的, 分别在前面、后面补 0, 然后写出每组对应的八进制数, 再按原顺序排列写出完整二进制数对应的八进制数。

八进制数转换为二进制数的方法为: 将每位八进制数分别用对应的三位二进制数表示, 再按原来的顺序排列起来, 便得到对应的二进制数。

【实例 1-6】将 $(1010011.00100011)_2$ 转换成八进制数。

解 $(1010011.00100011)_2$
 $= (001 \ 010 \ 011.001 \ 000 \ 110)_2$
 $= (1 \ 2 \ 3.1 \ 0 \ 6)_8$

所以 $(1010011.00100011)_2 = (123.106)_8$ 。

【实例 1-7】将八进制数 175.023 转换成相应的二进制数。

解 八进制数: 1 7 5 . 0 2 3

二进制数: 001 111 101 . 000 010 011

所以 $(175.023)_8 = (1111101.000010011)_2$ 。

2) 二进制与十六进制之间的相互转换

由于十六进制数有 $16=2^4$ 个不同的数码, 而四位二进制数有 16 种不同的组态。因此, 可用四位二进制数表示一位十六进制数, 一位十六进制数也可以用四位二进制数来表示。对应关系如表 1-1 所示。

表 1-1 一位十六进制数和四位二进制数之间的对应关系

十六进制数	二进制数	十六进制数	二进制数
0	0000	8	1000
1	0001	9	1001
2	0010	A→10	1010
3	0011	B→11	1011