



21st CENTURY

规划教材

面向21世纪高职高专电子通信系列规划教材
COURSES FOR VOCATIONAL HIGHER EDUCATION, ELECTRONICS AND COMMUNICATION

数字电子技术

DIGITAL ELECTRONIC TECHNOLOGIES

于晓平 主 编



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书根据高职高专教学内容的基本要求,着重介绍了数字电路的新理论、新技术和新器件,对数字电路的常用集成电路做了比较详细的介绍。

本书主要包括:数字电路基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲信号的产生与整形、模/数转换和数/模转换、半导体存储器。书中给出了大量的例题、习题和主要习题的参考答案,便于学生自学。

本书既可作为高职高专计算机专业、电子专业、信息技术专业和电气自动化专业的教材,也可供从事电子技术的工程人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/于晓平主编. —北京:科学出版社, 2004

(面向 21 世纪高职高专电子通信系列规划教材)

ISBN 7-03-013906-2

I. 数… II. 于… III. 数字电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 070070 号

责任编辑:王彦彦 朱凤成/责任校对:耿 耘

责任印制:吕春民 封面设计:东方人华平面设计部

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004年9月第 1 版 开本:787×1092 1/16

2005年2月第三次印刷 印张:15 1/2

印数:3 001—5 000 字数:349 000

定价:21.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

面向 21 世纪高职高专规划教材专家委员会

主 任 李宗尧

副主任 (按姓氏笔画排序)

丁桂芝 叶小明 张和平 林 鹏

黄 藤 谢培苏

委 员 (略)

信息技术系列教材编委会

主 任 丁桂芝

副主任 (按姓氏笔画排序)

万金保 方风波 徐 红 鲍 泓

委 员 (按姓氏笔画排序)

于晓平	马国光	仁英才	王东红	王正洪
王 玉	王兴宝	王金库	王海春	王爱梅
邓 凯	付百文	史宝会	本柏忠	田 原
申 勇	任益夫	刘成章	刘克敏	刘甫迎
刘经玮	刘海军	刘敏涵	安志远	许殿生
何瑞麟	余少华	吴春英	吴家碚	吴瑞萍
宋士银	宋锦河	张红斌	张环中	张海鹏
张蒲生	张德实	李云程	李文森	李 洛
李德家	杨永生	杨 闯	杨得新	肖石明
肖洪生	陈 愚	周子亮	周云静	胡秀琴
赵从军	赵长旭	赵动庆	郝 梅	唐铸文
徐洪祥	徐晓明	袁德明	郭庚麒	高延武
高爱国	康桂花	戚长政	曹文济	黄小鸥
彭丽英	董振珂	蒋金丹	韩银峰	魏雪英

本书编写人员名单

主 编 于晓平

副主编 赵伟中 李振东 冯润根 王 平

参编人员 (按姓氏笔画排序)

王 铮 孙方霞 李 磊

出版前言

随着世界经济的发展,人们越来越深刻地认识到经济发展需要的人才多元化、多层次的,既需要大批优秀的理论性、研究性的人才,也需要大批应用性人才。然而,我国传统的教育模式主要是培养理论性、研究性的人才。教育界在社会对应用性人才需求的推动下,专门研究了国外应用性人才教育的成功经验,结合国情大力度地改革我国的“高等职业教育”,制定了一系列的方针政策。联合国教科文组织 1997 年公布的教育分类中将这种教育称之为“高等技术与职业教育”,也就是我们通常所说的“高职高专”教育。

我国经济建设需要大批应用性人才,呼唤高职高专教育的崛起和成熟,寄希望于高职高专教育尽快向国家输送高质量的紧缺人才。近几年,高职高专教育发展迅速。目前,各类高职高专学校已占全国高等院校的近 1/2,约有 600 所之多。教育部针对高职高专教育出台的一系列政策和改革方案主要体现在以下几个方面:

- “就业导向”成为高职高专教育的共识。高职高专院校在办学过程中充分考虑市场需求,用“就业导向”的思想制定招生和培养计划。
- 加快“双师型”教师队伍建设。已建立 12 个国家高职高专学生和教师的实训基地。
- 对学生实行“双认证”教育。学历文凭和职业资格“双认证”教育是高职高专教育特色之一。
- 高职高专教育以 2 年学制为主。从学制入手,加快高职高专教学方向的改革,充分办出高职高专教育特色,尽快完成紧缺人才的培养。
- 开展精品专业和精品教材建设。已建立科学的高职高专教育评估体系和评估专家队伍,指导、敦促不同层次、不同类型的学校办出一流的教育。

在教育部关于“高职高专”教育思想和方针指导下,科学出版社积极参与到高职高专教材的建设中去。在组织教材过程中采取了“请进来,走出去”的工作方法,即由教育界的专家、领导和一线的教师,以及企事业从事人力资源工作的人员组成顾问班子,充分分析我国各地区的经济发展、产业结构以及人才需求现状,研究培养国家紧缺人才的关键要素,寻求切实可行的教学方法、手段和途径。

通过研讨认识到,我国幅员辽阔,各地区的产业结构有明显的差异,经济发展也不平衡,各地区对人才的实际需求也有所不同。相应地,对相同专业和相近专业,不同地区的教学单位在培养目标和培养内容上也各有自己的定位。鉴于此,适应教育现状的教材建设应该具有多层次的设计。

为了使教材的编写能针对受教育者的培养目标,出版社的编辑分不同地区逐所学校拜访校长、系主任和老师,深入到高职高专学校及相关企事业,广泛、深入地和教学第

一线的老师、用人单位交流,掌握了不同地区、不同类型的高职高专院校的教师、学生和教学设施情况,清楚了各学校所设专业的培养目标和办学特点,明确了用人单位的需求条件。各区域编辑对采集的数据进行统计分析,在相互交流的基础上找出各地区、各学校之间的共性和个性,有的放矢地制定选题项目,并进一步向老师、教育管理者征询意见,在获得明确指导性意见后完成“高职高专规划教材”策划及教材的组织工作:

- 第一批“高职高专规划教材”包括三个学科大系:经济管理、信息技术、建筑。
- 第一批“高职高专规划教材”在注意学科建设完整性的同时,十分关注具有区域人才培养特色的教材。
- 第一批“高职高专规划教材”组织过程正值高职高专学制从3年制向2年制转轨,教材编写将其作为考虑因素,要求提示不同学制的讲授内容。
- 第一批“高职高专规划教材”编写强调
 - ◆ 以就业岗位对知识和技能需求下的教材体系的系统性、科学性和实用性。
 - ◆ 教材以实例为先,应用为目的,围绕应用讲理论,取舍适度,不追求理论的完整性。
 - ◆ 提出问题→解决问题→归纳问题的教、学法,培养学生触类旁通的实际工作能力。
 - ◆ 课后作业和练习(或实训)真正具有培养学生实践能力的作用。

在“高职高专规划教材”编委的总体指导下,第一批各科教材基本是由系主任,或从教学一线中遴选的骨干教师执笔撰写。在每本书主编的严格审读及监控下,在各位老师的辛勤编撰下,这套凝聚了所有作者及参与研讨的老师们的经验、智慧和资源,涉及三个大的学科近200种的高职高专教材即将面世。我们希望经过近一年的努力,奉献给读者的这套书是他们渴望已久的适用教材。同时,我们也清醒地认识到,“高职高专”是正在探索中的教育,加之我们的水平和经验有限,教材的选题和编辑出版会存在一些不尽人意的地方,真诚地希望得到老师和学生的批评、建议,以利今后改进,为繁荣我国的高职高专教育不懈努力。

科学出版社

2004年6月1日

前 言

数字电子技术课程是计算机、电子、信息技术和电器自动化等专业的一门专业基础课。本书根据高职、高专教学内容的基本要求,本着理论够用,应用为主,注重实践的教学思想编写。

本书的编写人员均来自于高职高专院校从事电子技术教学的第一线教师,具有多年教授数字电子技术课程的丰富经验。根据高职高专学生的实际情况,本书在编写过程中,删除了繁杂的数学公式推导以及集成电路的内部结构,力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂。书中给出了大量的例题、习题和主要习题的参考答案,便于学生自学。本教材参考教学时数为 72~90 学时。

本书反映了数字电子技术的新发展,着重介绍数字电路的新理论、新技术、新器件,对数字电路的常用集成电路作了比较详细的介绍。

本书的主要内容如下:第 1 章数字电路基础,主要包括数制与编码、逻辑代数基础、逻辑函数及其表示方法、逻辑代数的基本公式、定律和运算规则、逻辑函数的公式化简法、卡诺图化简法;第 2 章逻辑门电路,主要包括半导体二极管、三极管和 MOS 管的开关特性, TTL 集成门电路和 CMOS 集成门电路;第 3 章组合逻辑电路,主要包括组合逻辑电路的分析、组合逻辑电路的设计、加法器、数值比较器、编码器、译码器、数据选择器、数据分配器、奇偶检测电路、用中规模集成电路设计一般组合电路、组合电路中的竞争冒险;第 4 章时序逻辑电路,主要包括触发器、同步时序逻辑电路的分析、同步时序逻辑电路的设计、异步时序逻辑电路、计数器、寄存器;第 5 章脉冲信号的产生与整形,主要包括多谐振荡器、施密特触发器和单稳态触发器;第 6 章模/数和数/模转换电路,主要包括 A/D 转换的基本原理和常用技术、典型集成 A/D 转换电路简介、D/A 转换的基本原理和典型集成 D/A 转换电路简介;第 7 章半导体存储器,主要包括掩膜只读存储器——ROM,可编程只读存储器——PROM,光可擦除、可编程只读存储器——EPROM,电可擦除、可编程只读存储器——EEPROM 以及随机存取存储器(RAM)的结构和工作原理, RAM 容量的扩展。

本书由于晓平教授担任主编,赵伟中、李振东、冯润根、王平担任副主编。具体编写分工如下:赵伟中、李磊编写第 1 章,王平编写第 2 章,李振东编写第 3 章,孙方霞编写第 4 章,王铮编写第 5 章,于晓平编写第 6 章,冯润根编写第 7 章,全书由于晓平统稿。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者指正,以便不断改进。

编 者

2004 年 5 月

目 录

第 1 章 数字电路基础.....	1
1.1 数字电路概述.....	1
1.1.1 数字信号与数字电路.....	1
1.1.2 数字电路的特点和分类.....	2
1.2 数制与编码.....	3
1.2.1 数制.....	3
1.2.2 不同数制间的相互转换.....	4
1.2.3 常用编码.....	6
1.3 逻辑代数基础.....	8
1.3.1 逻辑代数的基本运算.....	8
1.3.2 几种常用逻辑的运算.....	10
1.4 逻辑函数及其表示方法.....	14
1.4.1 逻辑函数.....	14
1.4.2 逻辑函数的表示方法.....	15
1.4.3 逻辑函数几种表示方法之间的相互转换.....	15
1.5 逻辑代数的基本公式、定律和运算规则.....	17
1.5.1 逻辑代数的基本公式.....	17
1.5.2 逻辑代数的基本规则.....	18
1.5.3 逻辑代数的常用公式.....	19
1.6 逻辑函数的公式化简法.....	21
1.6.1 化简的意义和最简的标准.....	21
1.6.2 逻辑代数的公式化简法.....	22
1.7 逻辑函数的卡诺图化简法.....	24
1.7.1 逻辑函数的最小项.....	24
1.7.2 卡诺图化简逻辑函数.....	26
1.7.3 具有约束项的逻辑函数的化简.....	33
习题.....	35
第 2 章 逻辑门电路.....	38
2.1 半导体二极管、三极管和 MOS 管的开关特性.....	39
2.1.1 半导体二极管的开关特性.....	39
2.1.2 半导体三极管的开关特性.....	40
2.1.3 MOS 管的开关特性.....	43
2.2 TTL 集成门电路.....	44
2.2.1 TTL 与非门.....	44

2.2.2	TTL 集电极开路与非门	53
2.2.3	TTL 三态门	54
2.2.4	TTL 集成电路及其应用	55
2.3	CMOS 集成门电路	60
2.3.1	CMOS 与非门	61
2.3.2	CMOS 漏极开路与非门	62
2.3.3	CMOS 三态门	62
2.3.4	CMOS 集成电路及其应用	63
	习题	66
第 3 章	组合逻辑电路	72
3.1	概述	72
3.2	组合逻辑电路的分析	73
3.2.1	组合逻辑电路的分析步骤	73
3.2.2	组合逻辑电路的分析举例	73
3.3	组合逻辑电路的设计	75
3.3.1	组合逻辑电路的设计步骤	75
3.3.2	组合逻辑电路的设计举例	75
3.4	加法器	76
3.4.1	半加器和全加器	76
3.4.2	多位加法器	78
3.5	数值比较器	80
3.5.1	1 位数值比较器	80
3.5.2	4 位数值比较器	80
3.6	编码器	83
3.6.1	二进制编码器	83
3.6.2	优先编码器	84
3.6.3	二—十进制编码器	85
3.7	译码器	86
3.7.1	二进制译码器	86
3.7.2	二—十进制译码器	88
3.7.3	显示译码器	89
3.8	数据选择器	92
3.8.1	四选一数据选择器	92
3.8.2	集成数据选择器	93
3.9	数据分配器	95
3.9.1	1 路—4 路数据分配器	95
3.9.2	集成数据分配器	96
3.10	奇偶检测电路	96

3.10.1 奇偶检测原理	96
3.10.2 奇偶检测电路及其应用	98
3.11 用中规模集成电路设计一般组合电路	100
3.11.1 利用译码器设计一般组合电路	100
3.11.2 利用数据选择器设计一般组合电路	102
3.11.3 利用四位全加器设计一般组合电路	104
3.12 组合电路中的竞争冒险	106
3.12.1 竞争冒险的产生原因	106
3.12.2 竞争冒险的判断与识别	107
3.12.3 消除竞争冒险的方法	108
习题	109
第4章 时序逻辑电路	112
4.1 触发器	112
4.1.1 概述	112
4.1.2 基本 RS 触发器	113
4.1.3 同步 RS 触发器	116
4.1.4 主从 RS 触发器	118
4.1.5 JK 触发器	120
4.1.6 D 触发器	124
4.1.7 T 和 T' 触发器	126
4.1.8 不同类型触发器间的相互转换	127
4.1.9 触发器逻辑功能的表示方法	132
4.2 时序逻辑电路概述	132
4.2.1 时序逻辑电路的一般模型	132
4.2.2 时序逻辑电路的一般分类	133
4.3 同步时序逻辑电路的分析	134
4.3.1 同步时序逻辑电路分析步骤	134
4.3.2 同步时序逻辑电路分析举例	135
4.4 同步时序逻辑电路的设计	139
4.4.1 同步时序逻辑电路设计步骤	139
4.4.2 同步时序逻辑电路设计举例	140
4.5 异步时序逻辑电路	143
4.6 计数器	147
4.6.1 二进制计数器	147
4.6.2 十进制计数器	154
4.6.3 N 进制计数器	157
4.7 寄存器	161
4.7.1 基本寄存器	161
4.7.2 移位寄存器	162

4.7.3 寄存器的应用	165
习题	168
第5章 脉冲信号的产生与整形	174
5.1 多谐振荡器	174
5.1.1 多谐振荡器	175
5.1.2 CMOS 多谐振荡器	178
5.1.3 石英晶体多谐振荡器	179
5.1.4 集成多谐振荡器及其应用	181
5.2 施密特触发器	185
5.2.1 施密特触发器	185
5.2.2 集成施密特触发器及其应用	186
5.3 单稳态触发器	190
5.3.1 单稳态触发器	190
5.3.2 集成单稳态触发器及其应用	193
习题	195
第6章 模/数和数/模转换电路	197
6.1 模/数转换电路	197
6.1.1 A/D 转换的基本原理	198
6.1.2 A/D 转换的常用技术	200
6.1.3 A/D 转换器的主要技术指标	204
6.1.4 典型集成 A/D 转换电路简介	204
6.2 数/模转换电路	207
6.2.1 D/A 转换的基本原理	207
6.2.2 D/A 转换器的主要性能参数	209
6.2.3 典型集成 D/A 转换电路简介	209
习题	212
第7章 半导体存储器	213
7.1 概述	213
7.2 只读存储器	214
7.2.1 只读存储器的分类	214
7.2.2 掩膜只读存储器——ROM	214
7.2.3 可编程只读存储器——PROM	217
7.2.4 光可擦除、可编程只读存储器——EPROM	217
7.2.5 电可擦除、可编程只读存储器——EEPROM	218
7.2.6 ROM 应用举例	218
7.3 随机存取存储器	221
7.3.1 随机存取存储器的分类	221
7.3.2 RAM 的结构和工作原理	221

7.3.3 RAM 容量的扩展	226
习题	227
习题参考答案	229
主要参考文献	233

第 1 章 数字电路基础



知识点

- 数字电路的特点，数制与码
- 基本逻辑关系，常用门电路
- 逻辑函数的表示方法
- 逻辑函数的化简



难点

- 常用编码
- 逻辑代数的基本公式与公式法化简逻辑函数
- 具有约束项的逻辑函数的化简



要求

掌握：

- 常用数制与码
- 逻辑代数的基本运算，基本逻辑关系，基本门电路
- 逻辑函数的 5 种表示方法及相互转换
- 逻辑函数的化简

了解：

- 数字电路的特点与分类
- 逻辑代数的 3 大规则
- 逻辑函数的波形图表示法

1.1 数字电路概述

1.1.1 数字信号与数字电路

现代电子线路所处理的信号大致可分为两大类：一类为模拟信号，一类为数字信号。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。

所谓模拟信号是指时间上和数值上都是连续的信号。模拟信号一般是指模拟真实世界物理量的电压或电流，如模拟话音、温度、压力等一类物理量的信号。处理这类信号时，考虑的是放大倍数、频率失真、非线性失真及相位失真等，着重分析波形的形状、幅度和频率如何变化。

所谓数字信号是指时间上和数值上都是离散的信号，即在时间上是不连续的，总是发生在一系列离散的瞬间，在数值上是量化了的，只能按有限多个增量或阶梯取值。信号所表现的形式是一系列高、低电平组成的脉冲波，即信号总是在高电平和低电平之间来回变化。在这里，重要的是要能正确区分出信号的高、低电平，并正确反映电路的输出、输入之间关系，至于高、低电平值精确为多少则无关紧要。

数字电路主要研究电路输入、输出状态之间的相互关系，即逻辑关系。分析和设计数字电路的数学工具是逻辑代数，它是英国数学家布尔于 1849 年提出的，因此也称布尔代数。

1.1.2 数字电路的特点和分类

1. 数字电路的特点

1) 电路结构简单，稳定可靠。数字电路只要能区分高电平和低电平即可，对元件的精度要求不高，因此有利于实现数字电路集成化。

2) 数字信号在传递时采用高、低电平二值信号，因此数字电路抗干扰能力强，不易受外界干扰。

3) 数字电路不仅能完成数值运算，还可以进行逻辑运算和判断，因此数字电路又称为数字逻辑电路或数字电路与逻辑设计。

4) 数字电路中元件处于开关状态，功耗较小。

由于数字电路具有上述特点，故发展十分迅速，在计算机、数字通信、自动控制、数字仪器及家用电器等技术领域中得到广泛的应用。

2. 数字电路的分类

1) 按电路组成结构分为分立元件和集成电路两大类。其中集成电路按集成度（在一块硅片上包含的逻辑门电路或元件的数量）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，如表 1.1 所示。

表 1.1 集成电路分类

集成电路分类	集成度	电路规模与范围
小规模集成电路（SSI）	1~10 个门/片或 10~100 个元件/片	逻辑单元电路 包括：逻辑门电路、集成触发器
中规模集成电路（MSI）	10~100 个门/片或 100~1000 个元件/片	逻辑功能部件 包括：译码器、编码器、选择器、计数器、寄存器及比较器等
大规模集成电路（LSI）	>100 个门/片或 >1000 个元件/片	数字逻辑系统 包括：中央处理器、存储器及串并行接口电路等
超大规模集成电路（VLSI）	>1000 个门/片或 >10 万个元件/片	高集成度的数字逻辑系统 例如：在一个硅片上集成一个完整的微型计算机

2) 按电路所用器件分为双极型（如 TTL、ECL、 I^2L 、HTL）和单极型（如 NMOS、

PMOS、CMOS) 电路。

3) 按电路逻辑功能分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。

1.2 数制与编码

1.2.1 数制

数制即计数的方法, 是计数进位制的简称。在日常生活中, 我们习惯用十进制数, 而在数字系统中进行数字的运算和处理, 采用的是二进制数、八进制数和十六进制数。

1. 十进制数

十进制数是人们最熟悉的计数体制, 它用 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 十个数码, 按照一定的规律排列起来, 表示数的大小。

例如, $1989 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 9 \times 10^0$

我们很容易发现十进制数的特点如下。

- 1) 每一位十进制数必然是 0~9 十个数码中的一个。
- 2) 它的基数是 10。基数即所用数码的数目。
- 3) 十进数的计数规律是“逢十进一”, 即 $1+9=10$ 。
- 4) 同一数码在不同的数位代表的数值不同, 各位 10^i 所代表的值称为该位 (第 i 位) 的权, 它是 10 的幂。这样, 各数位表示的数值是该位数码 (系数) 与权的乘积, 称之为加权系数。

因此, 对任一个十进制的正整数 $[N]_{10}$ 可以表示为

$$[N]_{10} = K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 10^i \quad (1.2.1)$$

式中的 K_i 为第 i 位的系数, 它是 0~9 十个数码中任意一个; 10^i 为第 i 位的权。

2. 二进制数

十进制数是日常生活中常用的数制, 但从数字系统的组成来看, 采用二进制数要比采用十进制数方便。这是因为构成计数电路的基本想法是把电路的状态与数码对应起来, 十进制数需要 10 个数码表示, 要想找到能严格区分 10 种状态的器件与之对应是十分困难的。二进制数则不一样, 它只用 0 和 1 两个数码表示, 能够区分两种状态的器件就很多。例如开关的接通与断开、晶体管的饱和与截止、灯泡的亮与灭等。只要规定其中一种状态为 1, 另一种状态为 0, 就可以用来表示二进制数了。并且, 二进制数的基本运算规则简单, 如加法运算规则为: $0+0=0, 0+1=1, 1+0=1, 1+1=10$; 乘法运算规则为: $0 \times 0=0, 0 \times 1=0, 1 \times 0=0, 1 \times 1=1$ 。这些特点使得数字电路中广泛采用二进制。

二进制数的基数是 2, 采用两个数码 0 和 1。计数规律是“逢二进一”, 即 $1+1=10$ (读作“壹零”)。二进制数各位的权为 2 的幂。

所以, 一个 n 位二进制数 $[N]_2$ 的按权展开式为

$$[N]_2 = K_{n-1} \times 2^{n-1} + K_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 2^i \quad (1.2.2)$$

式中的 K_i 为第 i 位的系数，它是 0 或 1 两个数码中任意一个； 2^i 为第 i 位的权。

【例 1.1】 $[11010]_2 = [1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0]_{10} = [16 + 8 + 0 + 2 + 0]_{10} = [26]_{10}$

如果是小数，同样可以表示为以基数 2 为底的幂的求和式，但小数部分应是负的次幂。

【例 1.2】 $[1011.1]_{10} = [1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1}]_{10} = [8 + 0 + 2 + 1 + 0.5]_{10} = [11.5]_{10}$

从以上两例可以看出，采用二进制数便于机器识别和运算，但位数太长，人们既难记忆，又不便于读写。所以在数字系统中为了便于读写，有时用八进制或十六进制数表示二进制数。

3. 八进制数

八进制数的基数是 8，采用 8 个数码 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。计数规律是“逢八进一”。八进制数各位的权为 8 的幂。

所以，一个 n 位八进制数 $[N]_8$ 的按权展开式为

$$[N]_8 = K_{n-1} \times 8^{n-1} + K_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + K_1 \times 8^1 + K_0 \times 8^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 8^i \quad (1.2.3)$$

【例 1.3】 $[234]_8 = [2 \times 8^2 + 3 \times 8^1 + 4 \times 8^0]_{10} = [128 + 24 + 4]_{10} = [156]_{10}$

4. 十六进制数

十六进制数的基数是 16，采用 16 个数码 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F。其中，A~F 表示 10~15。计数规律是“逢十六进一”。十六进制数各位的权为 16 的幂。

所以，一个 n 位十六进制数 $[N]_{16}$ 的按权展开式为

$$[N]_{16} = K_{n-1} \times 16^{n-1} + K_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + K_1 \times 16^1 + K_0 \times 16^0 = \sum_{i=0}^{n-1} K_i \times 16^i \quad (1.2.4)$$

【例 1.4】 $[9C]_{16} = [9 \times 16^1 + 12 \times 16^0]_{10} = [156]_{10}$

1.2.2 不同数制间的相互转换

1. 二进制数、八进制数、十六进制数转换为十进制数

方法：按权展开并相加。

2. 十进制数转换为二进制数

(1) 十进制数整数转换为二进制数

方法：把十进制数逐次地用 2 除，取余数，一直除到商数为零。然后将每次所得到的余数从后向前排列倒序读出，即为所求的二进制整数。

【例 1.5】 将十进制整数 $[75]_{10}$ 转换为二进制数。

解

2	75		
2	37	1	↑ 最低位
2	18	1	
2	9	0	
2	4	1	
2	2	0	
2	1	0	
	0	1	

所以, $[75]_{10}=[1001011]_2$

(2) 十进制数小数转换为二进制数

方法: 用 2 逐次乘以十进制数小数, 取其整数, 直到小数为 0 或达到转换所要求的精度为止。然后将所得的整数从高到低正序读出。

【例 1.6】 将十进制小数 $[0.625]_{10}$ 转换为二进制数。

解

0.625			
× 2			
1.250	1	↓	最高位
× 2			
0.500	0		
× 2		↓	最低位
1.000	1		

所以, $[0.625]_{10}=[0.101]_2$

十进制数转换为八进制数、十六进制数比较繁琐, 一般先将十进制数转换为二进制数, 再转换为八进制数、十六进制数。

3. 二进制数与八进制数之间的转换

由于二进制数与八进制数之间正好满足 2^3 关系, 因此把 3 位二进制数看作 1 位八进制数, 或把 1 位八进制数视为 3 位二进制数。转换时将二进制数从小数点开始, 分别向两侧每 3 位一组, 若整数最高位不足一组, 在左边加 0 补足一组, 小数最低位不足一组, 在右边加 0 补足一组, 然后将每组二进制数转换为八进制数。反之, 将每位八进制数转换为 3 位二进制数。

【例 1.7】 将二进制数 $[1101101010.0110101]_2$ 转换为八进制数。

解 $[1101101010.0110101]_2=[001/101/101/010.011/010/100]_2=[1552.324]_8$

【例 1.8】 将八进制数 $[236.74]_8$ 转换为二进制数。

解 $[236.74]_8=[010011110.111100]_2=[10011110.1111]_2$

4. 二进制数与十六进制数之间的转换

由于二进制数与十六进制数之间正好满足 2^4 关系, 因此把 4 位二进制数看作 1 位