

电子电路

ELECTRONIC CIRCUITS

赵动庆 主 编

徐丽香 副主编

008



科学出版社
www.sciencep.com



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

电子电路

赵动庆 主 编

徐丽香 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

根据高等职业技术学校教学要求和特点,本书分为数字电路和模拟电路两部分,综合低频电路、高频电路、电子信息技术于一体。数字电路(上篇)包括数字电路基础知识、组合逻辑电路及其应用、时序逻辑电路及其应用、数字信息转换、大规模集成电路及其应用、数字信号的调制与解调等。模拟电路(下篇)包括二极管及其典型应用电路、三极管及其典型应用电路、线性集成运算放大器电路以及直流电源、调制与解调等模拟电子技术应用等。

本书内容选取贴近实际应用技术,内容整合后避免了教学中重复教授的弊端,是高等职业教育电类及相关专业的教材。

本书内容对于网络技术、应用电子技术、无线电技术、通信技术、计算机应用技术、机电一体化、自动控制等电类及相关专业的高等职业教育基本够用。

图书在版编目(CIP)数据

电子电路/赵动庆主编. —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 7-03-014226-8

I. 电… II. 赵… III. 电子电路-高等学校:技术学校-教材

IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 085513 号

责任编辑:舒 立 孙露露/责任校对:柏连海

责任印制:吕春珉/封面设计:飞天创意

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>

世界知识印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004 年 8 月第一次印刷 印张:19 1/2

印数:1—3 000 字数:447 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈世知〉)

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

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,以及企事业单位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单位,广泛、深入地 and 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师生、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

本教材根据高等职业技术学院和高等专科学校的教学特点,突出工程应用技术要求、特性,精编教学内容,从专业知识体系出发,注意电子技术在传感、传输、处理和执行等方面的应用,力图使学生达到从事专业工作的必要深度和专业适应能力。本教材注重基本理论及其认识规律,降低了对电工学、高等数学等基础理论学科的依赖,突出应用环节,便于高职类学生使用。

本教材通过对电子技术基本应用知识体系的精编,将电子技术学科的基础内容整合为低频电路、高频电路、数字技术和电子信息技术基础于一体的模拟电路和数字电路两个部分,基本避免了电类或近电类专业在高/低频技术、模拟/数字技术教学中出现部分内容重复、占用学时较多的缺点,并形成较完整的应用知识体系,避免了专业基础教学与应用知识脱节的弊端,为高等职业院校学生的知识贴近现代应用技术领域提供了方便和可能,本教材也可以成为专业工作人员上岗就业的技术参考书之一。

本教材分为数字电路和模拟电路两部分。数字电路(上篇)包括数字电路基础知识、组合逻辑电路及其应用、时序逻辑电路及其应用、数字信息转换、大规模集成电路及其应用、数字信号的调制与解调等。模拟电路(下篇)内容包括:二极管及其典型应用电路、三极管及其典型应用电路、线性集成运算放大器电路以及直流电源、调制与解调等模拟电子技术应用环节。本书内容已经能够满足应用电子技术、网络技术、无线电技术、通信技术、计算机应用技术、机电一体化、自动控制等电类及相关专业的高等职业教育基本需求。通过精简部分专业应用知识内容,本书还可作为非电类专业的教材使用。对于电类专业,本教材参考教学学时为90学时,为高等职业技术学院教学改革提供了方便和可能;对于电类相关专业和非电类专业,可根据专业需求将部分应用知识环节的内容省略不讲(或作为课外阅读资料使用),教学学时可压缩至60学时。

本教材配备了网络教学资源,网址: www.gdmec.edu.cn,可以充分利用电化教学手段展开教学过程,精讲多练,提高教学效率。通过网络资源提供的精品课件,可以将电类专业的教学学时压缩到70学时以内,非电类专业的教学参考学时减少到50学时以内。

本教材由赵动庆老师担任主编,他整合电子电路知识体系,组织开发网络资源,并担任模拟电路部分的编写工作,数字电路部分由徐丽香老师编写。

本书在编撰过程中,得到广东机电职业技术学院计算机与信息工程系余少华老师的关心和帮助,在插图设计、版面安排等方面得到卢智勇和李建波的大力协助,编者在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中难免有疏漏之处,热诚欢迎读者批评指导,技术论坛邮箱: dzhi@gdmec.edu.cn。

编 者

2004年7月

目 录

上篇 数字电路

第1章 数字电路基础知识	1
1.1 数字信号和数字电路	1
1.2 数制和编码	3
1.2.1 数制	3
1.2.2 不同进制之间的相互转换	5
1.2.3 编码	6
1.3 逻辑代数基础	8
1.3.1 逻辑变量	8
1.3.2 逻辑运算	9
1.3.3 逻辑函数及其表示方法	12
1.4 逻辑代数的公式	15
1.5 逻辑函数的化简	19
1.5.1 化简意义及标准	19
1.5.2 公式化简法	19
1.5.3 逻辑函数的卡诺图化简	20
1.5.4 具有约束项的逻辑函数及其化简	24
小结	26
习题	26
第2章 逻辑门电路	29
2.1 概述	29
2.2 晶体管的开关特性	30
2.3 TTL 门电路	32
2.3.1 TTL 与非门	32
2.3.2 TTL 与非门的改进系列	37
2.3.3 TTL 门的其他类型	37
2.4 CMOS 集成门电路	40
2.4.1 MOS管的开关特性	40
2.4.2 CMOS反相器	41
2.4.3 常用CMOS门电路	41
2.4.4 CMOS集成门电路的应用	42
2.5 集成门电路的实用知识	43
2.5.1 常用集成门电路型号系列简介	43
2.5.2 集成门电路使用注意事项	45
2.5.3 TTL 与 CMOS 电路的接口技术	46

小结	48
习题	49
第3章 组合逻辑电路	52
3.1 组合逻辑电路的分析与设计方法	53
3.1.1 组合逻辑电路的分析方法	53
3.1.2 组合逻辑电路的设计	55
3.2 常用组合逻辑功能器件	57
3.2.1 加法器	57
3.2.2 编码器	58
3.2.3 译码器及数码显示电路	62
3.2.4 数据分配器和选择器	68
3.2.5 数值比较器	72
小结	74
习题	74
第4章 集成触发器	77
4.1 集成触发器的基本形式	77
4.1.1 基本 RS 触发器	77
4.1.2 同步触发器	79
4.2 防止空翻的触发器	82
4.2.1 主从 JK 触发器	82
4.2.2 边沿触发器	85
4.3 触发器逻辑功能的转换	87
4.3.1 将 JK 触发器转换成 D 触发器, T 触发器	87
4.3.2 D 触发器转换成 T 触发器和 T' 触发器	88
4.4 触发器使用常识及应用实例	88
4.4.1 触发器的主要参数	88
4.4.2 使用触发器注意事项	89
4.4.3 集成触发器的应用实例	89
小结	92
习题	93
第5章 时序逻辑电路	95
5.1 时序逻辑电路的基本概述	95
5.1.1 时序电路的基本特点和结构	95
5.1.2 时序电路的一般分析方法	96
5.1.3 时序逻辑电路的设计	100
5.2 寄存器	105
5.2.1 数码寄存器	105
5.2.2 移位寄存器	106
5.2.3 移位寄存器应用举例	108
5.3 计数器	110
5.3.1 2^n 进制计数器的构成原理	110

5.3.2 十进制计数器 (又称“二—十进制计数器”)	112
5.3.3 N进制计数器	116
5.3.4 计数器应用举例	119
小结	121
习题	122
第6章 脉冲波形的产生和变换	124
6.1 脉冲波形的变换	124
6.1.1 脉冲的基本概念	125
6.1.2 RC 波形变换电路	126
6.2 集成 555 定时器	130
6.3 单稳态触发器	132
6.3.1 用 555 定时器的单稳态触发器	133
6.3.2 集成单稳态触发器	134
6.3.3 单稳态触发器的应用	137
6.4 多谐振荡器	138
6.4.1 用 555 定时器构成的多谐振荡器	139
6.4.2 多谐振荡器应用实例	141
6.5 施密特触发器	142
6.5.1 用 555 定时器构成的施密特触发器	143
6.5.2 集成施密特触发器	145
6.5.3 施密特触发器的应用举例	145
小结	146
习题	147
第7章 数/模、模/数转换	150
7.1 概 述	150
7.2 数/模 (D/A) 转换器	151
7.2.1 电阻网络 D/A 转换器	151
7.2.2 一位 D/A 转换器	155
7.3 模/数 (A/D) 转换器	156
7.3.1 A/D 转换的基本原理	156
7.3.2 逐次逼近型 A/D 转换器	158
7.4 V/F 转换和 F/V 转换	162
小结	164
习题	164
第8章 大规模集成电路及其应用	166
8.1 半导体存储器概述	166
8.2 只读存储器	167
8.2.1 ROM 的结构和工作原理	167
8.2.2 常用 ROM 介绍	169
8.3 随机存储器 RAM	172

8.4 可编程逻辑器件 (PLD) 简介	175
8.4.1 概述	175
8.4.2 PLD 器件的描述规则	176
8.4.3 PLD 的开发环境	177
8.5 大规模集成电路的综合应用	177
8.5.1 霓虹灯控制电路	177
8.5.2 波形产生电路	179
小结	187
习题	187

下篇 模拟电路

第9章 二极管及其典型应用电路	189
9.1 半导体与二极管	189
9.1.1 半导体	189
9.1.2 PN 结和二极管	191
9.2 二极管的主要参数和种类	195
9.2.1 二极管主要参数	195
9.2.2 常用二极管的种类	196
9.2.3 二极管的型号命名	198
9.3 二极管电路分析	198
9.4 简单直流电源	201
9.4.1 整流电路	201
9.4.2 滤波电路	204
小结	208
习题	210
第10章 三极管及其典型应用电路	213
10.1 双极型三极管及其典型放大电路	214
10.1.1 双极型三极管的结构与类型	214
10.1.2 三极管的特性、外部工作条件和典型偏置电路	214
10.1.3 三极管的主要参数	220
10.2 三极管放大电路的分析与应用	220
10.3 共集与共基放大器	224
10.3.1 共集放大器	224
10.3.2 共基放大器	226
10.4 场效应晶体管及其典型放大电路	227
10.4.1 结型场效应晶体管的结构、特性	227
10.4.2 自偏压结型场效应晶体管共源放大器	229
10.4.3 绝缘栅场效应晶体管的结构、特性	230
10.4.4 分压式 MOS 管共源放大器	231
10.4.5 场效应晶体管的极限参数	232

10.5 低频功率放大器	232
10.5.1 OCL 功率放大器电路	233
10.5.2 采用复合管的 OCL 功率放大器电路	234
10.5.3 OTL 功率放大电路	235
10.5.4 低频功放基本参数分析与测试	236
10.5.5 集成功率放大电路	238
10.6 多级放大器	239
10.6.1 阻容耦合多级放大器	240
10.6.2 变压器耦合多级放大器	242
10.6.3 直接耦合多级放大器	242
小结	243
习题	245
第 11 章 集成运算放大器电路	249
11.1 差动放大器与集成运算放大器	249
11.1.1 差动放大器简介	249
11.1.2 集成运算放大器	252
11.1.3 理想集成运算放大器	253
11.2 反馈与运算放大器典型电路	253
11.3 运算放大器应用电路	256
11.3.1 集成运算放大器的线性应用	256
11.3.2 集成运算放大器的非线性应用	259
小结	261
习题	261
第 12 章 模拟电子技术应用实例	264
12.1 直流稳压电源	264
12.1.1 串联式直流稳压电源	265
12.1.2 集成稳压电路的使用	266
12.1.3 开关型稳压电路简介	267
12.2 小信号谐振放大器与正弦波振荡器	268
12.2.1 常用谐振电路及器件	268
12.2.2 小信号谐振放大器	271
12.2.3 正弦波振荡器	274
12.3 调幅、检波与混频	278
12.4 调频与鉴频	282
小结	284
习题	285
附录	287
附录 1 常用逻辑符号对照表	287
附录 2 国产半导体集成电路型号命名法	289
附录 3 部分 TTL 器件一览表	291

附录 4 三种放大器性能比较	293
附录 5 各种场效应晶体管的电路符号和特性比较	294
主要参考文献	296

上篇 数字电路

第 1 章 数字电路基础知识



知识点

- 数制与编码
- 逻辑函数及其表示方法
- 逻辑代数的基本运算规则
- 逻辑函数的化简
- 具有约束项逻辑函数的化简



难点

- 逻辑函数的各种表示方法的转换
- 逻辑函数的化简



要求

掌握:

- 数字信号和数字电路的特点
- 二进制数、十进制数、8421BCD 码及其相互转换
- 逻辑代数的基本公式及定律
- 逻辑函数的五种表示方式及其互换
- 逻辑函数公式化简的基本方法。微处理器、微机、微机系统的概念

理解:

- 逻辑代数的常用公式
- 函数化简的标准和四变量以内的逻辑函数卡诺图化简法
- 约束项及其在化简中的作用

了解:

- 其他的几种 BCD 码

1.1 数字信号和数字电路

电子电路中的电信号可以分成两类。一类是在时间和数值上都是离散的信号,即它们的变化在时间上是不连续的,总是发生在一系列离散的瞬间,而且其数值大小和增减的变化都采用数字的形式,这一类信号称为数字信号。另一类则是除数字信号以外的所有信号,称为模拟信

号。模拟信号具有连续性,实用上难于存储、分析和传输。而数字信号由于在时间上是离散的,所以非常容易解决这些困难。

数字信号通常是用二进制数即只用“0”、“1”两种状态来表示信号。这时的数字“0”和“1”并不是通常在十进制中表述的数字“0”、“1”,而是逻辑 0 和逻辑 1,是表示事物彼此相关又互相立立的两种状态,如是与非、真与假、开与关、高与低等。

工作于数字信号下的电路称为数字电路。在电路中,并不可能出现数字“0”和“1”的传输,而只能通过电压或电流的变化来代表“0”和“1”的信息。

数字电路通常是通过不同的电压值(通常又称为逻辑电平 Logic Level)来代表和传输“0”和“1”这样的数字信息。这些电压通过示波器观察是在不断跳动的波形,通常称为数字波形。当波形仅有两个离散数值时,通常又称为脉冲波形。图 1.1 是数字波形。图 1.1(a)中用 0V 表示逻辑 0,用 5V 表示逻辑 1。图 1.1(b)表示 16 位数据的波形。当然,如果把每一位信号所占用的脉冲宽度减小一半,也可以认为图 1.1(b)表示 32 位数据的波形。所以,在数字电路中,每一位数字信号所占的时间也是非常重要的,每一位数据信号所用的时间越长,数字电路信号传送的速度越慢。在数字电路中,通常是通过时钟脉冲作为数字系统中的时间参考信号,利用时钟脉冲的宽度来决定每一位数字信号的波形长度。图 1.2 所示即是时钟脉冲与读取信号时位数的对应关系。此时,假设每一个时钟周期对应读取一位数据。所以在保存信号时,为保证数据不出错,记录和读取信号应采用频率相同的同步时钟脉冲。

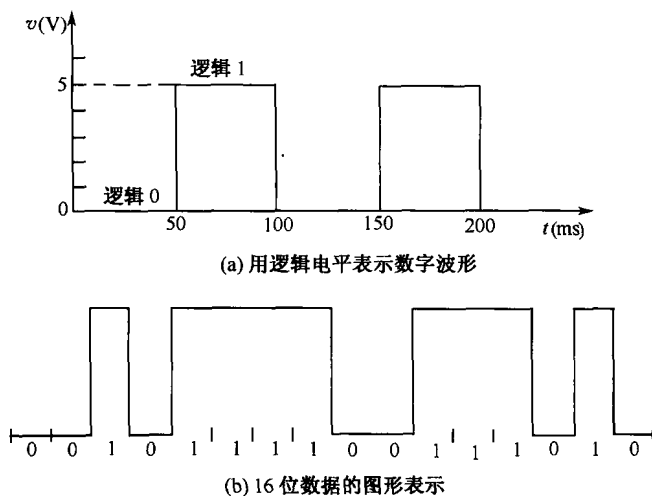


图 1.1 数字波形

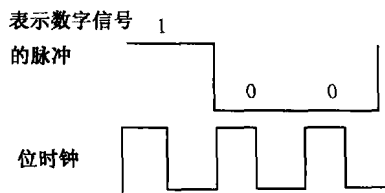


图 1.2 时钟脉冲与读取信号时位数的对应关系

如,某通信系统每秒钟传输 10000 位的数据,求每位数据的时间。

解:按题意,每位数据的时间为

$$\frac{1}{10000} = 1 \times 10^{-4} \text{s} = 100 \mu\text{s}$$

由于数字电路只需要区分两种状态,所以基本单元结构比较简单,可利用晶体管的导通、截止来表示 0 和 1,且允许器件参数有较大的误差,只要区分 0 和 1 就可以了,这使得数字电路的抗干扰能力强。

数字电路由于其具有使用方便、可靠性好、精度高等特点,应用范围越来越广泛。如:电视、数字仪器、通信、数控装置、雷达和电子计算机等。了解数字电路的功能和应用以便能对器件、设备进行合理选择和正确的运用,是数字时代技术人员应该具有的基本素质。

1.2 数制和编码

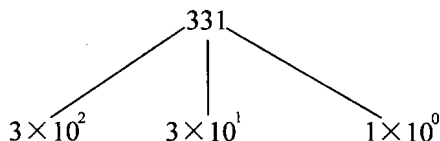
人们在日常生活中,习惯于用十进制数。在数字系统,例如数字计算机中,多采用二进制。而为了其他目的,人们还可以制定其他的进制。常用的进制有二进制、十进制、八进制和十六进制。

1.2.1 数制

数制即计数进位制的简称。当人们用数字量表示一个物理量的多少时,只用一个数字量在绝大多数情况下是不够的,因此必须采用多位数字量。而多位数字量按某种进位方式实现计数,这就是进位计数制。

1. 十进制数

十进制数(Decimal Number)是采用 0, 1, 2, 3, ..., 9 十个不同的数码来表示任何一位数,十进制数的基数是 10,进位规律是“逢十进一”,各数码处在不同数位时,所代表的数值是不同的。例如:331 里有 2 个 3 数码,但是各自对应的数值不同。



其中: 10^2 , 10^1 , 10^0 称为十进制各数位的权。

任何一个十进制整数,其数值都可表示为:

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

式中, i 表示位数,从整数最低位(个位)依次往高位, i 取正整数,分别为 0, 1, 2, ..., $n-1$ 共 n 位整数位;从小数最高位(十分位)依次往低位, i 取负整数,分别为 -1, -2, ..., - m 共 m 位小数。 a_i 表示第 i 次幂的系数,它是 0~9 十个基本数码中的一个。 10^i 表示第 i 位的权,指出 a_i 所表示数值的大小, $a_i \times 10^i$ 称为加权系数。

十进制数的下标可以用 10 或 D(Decimal 的缩写)表示,十进制数也可以省略下标。

2. 二进制数

二进制数(Binary Number)用两个数码 0 和 1 表示,进位规律是“逢 2 进 1”,即加法运算规则为 $1+1=10$ 。二进制数可以按权展开,展开后的数值为十进制数制的大小。任何一个二进

制整数可表示为:

$$\begin{aligned}
 [N]_2 &= a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + a_1 \times 2 + a_0 \times 2^0 + a_{-1} \times 2^{-1} \\
 &\quad + a_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 2^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 2^i
 \end{aligned}$$

式中: i 表示位数, 整数部分从低位依次向高位分别为 $0, 1, 2, \cdots, n-1$ 共 n 位整数位; 从小数最高位(十分位)依次往低位 i 取负整数, 分别是 $-1, -2, \cdots, -m$ 共 m 位小数。 a_i 为第 i 次幂的系数, 是两个数码 $0, 1$ 中的一个; $a_i \times 2^i$ 称为加权系数。

如 $[1101.01]_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} = 8 + 4 + 1 + 0.5 = 13.5$

二进制数的下标通常用 2 或者用 B (Binary 的缩写)表示。

数码 1 在不同位置所表示的意义不同。示例如表 1.1 所示。

表 1.1 部分不同位置的 1 数值所对应的十进制数

1 所在位置的 i 值	...	5	4	3	2	1	0	小数点	-1	-2	...
权值		2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0		2^{-1}	2^{-2}	
所表示十进制数	...	32	16	8	4	2	1		0.5	0.25	...

如: $[1101.01]_2$

对照表 1.1, 根据 $[1101.01]_2$ 中 4 个 1 所在的位置直接相加得:

$$[1101.01]_2 = 8 + 4 + 1 + 0.25 = [13.25]_{10}。$$

3. 八进制与十六进制

用二进制表示数时, 数码串很多, 为书写和查错方便, 常用八进制和十六进制。八进制有 $0, 1, 2, \cdots, 7$ 八个数码, 基数是 8, 进位规律是“逢 8 进 1”, 每个数位的权是 8 的幂。八进制的下标可用 8 或 O (Octonary 的缩写)表示。

$$\begin{aligned}
 [N]_8 &= a_{n-1} \times 8^{n-1} + a_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + a_1 \times 8^1 + a_0 \times 8^0 + a_{-1} \times 8^{-1} \\
 &\quad + a_{-2} \times 8^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 8^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 8^i
 \end{aligned}$$

十六进制有 $0, 1, 2, \cdots, 9, A, B, C, D, E, F$ 十六个数码, 基数是 16, 进位规律是“逢 16 进 1”, 每个数位的权是 16 的幂。十六进制的下标可用 16 或 H (Hex 的缩写)表示。

$$\begin{aligned}
 [N]_{16} &= a_{n-1} \times 16^{n-1} + a_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + a_1 \times 16^1 + a_0 \times 16^0 + a_{-1} \times 16^{-1} \\
 &\quad + a_{-2} \times 16^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 16^{-m} \\
 &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times 16^i
 \end{aligned}$$

在程序设计、指令书写、数据地址分配中十六进制用得非常广泛。另外, 在计算机应用中, 通常用 8 位二进制数表示一个字节, 用十六进制表示仅需两位, 即字节存储器的一个单元可以存入两个十六进制数。