

21
世纪

高职高专新概念教材

蔡燕娟 吴娇梅 主 编
叶雪军 吕淑琴 王宏秦 蔡在秋 副主编

数字逻辑设计

21 Shi Ji Gao Zhi Gao Zhuan Xin Gai Nian Jiao Cai



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专新概念教材

数字逻辑设计

蔡燕娟 吴娇梅 主编

叶雪军 吕淑琴 王宏秦 蔡在秋 副主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书是以教育部制定的《高职高专教育数字电子技术基础课程教学要求》为依据编写的。全书共分9章,内容包括数制与转换、数字逻辑电路的基本知识、组合逻辑电路的分析和设计、时序逻辑电路的分析和设计、大规模集成电路、脉冲信号的产生与整形、A/D和D/A转换等。

本书注重基础知识与应用并重,在电路的分析和设计的讨论中侧重讨论方法和步骤,注重应用,强调实践动手能力。书后附有大量的习题,提供了计算机仿真实验的工具和方法,可将习题在计算机上进行仿真。

本书可作为高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及本科院校举办的二级职业技术学院计算机、电子类专业的教材,也可以作为自动化、通讯、电力类专业的教材,还可供本科院校相关专业的师生及从事相关专业的工程技术人员参考。

本书为授课教师免费提供电子教案,此教案用PowerPoint制作,可以任意修改。

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑设计 / 蔡燕娟、吴娇梅主编. —北京:中国水利水电出版社, 2005
(21世纪高职高专新概念教材)

ISBN 7-5084-2052-7

I. 数… II. ①蔡…②吴… III. 数字电路—逻辑设计—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108301号

书 名	数字逻辑设计
主 编	蔡燕娟 吴娇梅
副 主 编	叶雪军 吕淑琴 王宏秦 蔡在秋
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机) 68331835 (营销中心) 82562819 (万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京市天竺颖华印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 19印张 428千字
版 次	2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	27.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

21 世纪高职高专新概念教材 编委会名单

主任委员 刘 晓 柳菊兴

副主任委员 胡国铭 张栾勤 王前新 黄元山 柴 野

张建钢 陈志强 宋 红 汤鑫华 王国仪

委 员 (按姓氏笔画排序)

马洪娟	马新荣	尹朝庆	方 宁	方 鹏
毛芳烈	王 祥	王乃钊	王希辰	王国思
王明晶	王泽生	王绍卜	王春红	王路群
东小峰	台 方	叶永华	宁书林	田 原
田绍槐	申 会	刘 猛	刘尔宁	刘慎熊
孙明魁	安志远	许学东	闫 菲	何 超
宋锦河	张 晞	张 慧	张弘强	张怀中
张晓辉	张浩军	张海春	张曙光	李 琦
李存斌	李作纬	李珍香	李家瑞	李晓桓
杨永生	杨庆德	杨名权	杨均青	汪振国
肖晓丽	闵华清	陈 川	陈 炜	陈语林
陈道义	单永磊	周杨娣	周学毛	武铁敦
郑有想	侯怀昌	胡大鹏	胡国良	费名瑜
赵 敬	赵作斌	赵秀珍	赵海廷	唐伟奇
夏春华	徐 红	徐凯声	徐雅娜	殷均平
袁晓州	袁晓红	钱同惠	钱新恩	高寅生
曹季俊	梁建武	蒋金丹	蒋厚亮	覃晓康
谢兆鸿	韩春光	詹慧尊	雷运发	廖哲智
廖家平	管学理	蔡立军	黎能武	魏 雄

项目总策划 雨 轩

编委会办公室 主 任 周金辉

副主任 孙春亮 杨庆川

参编学校名单

(按第一个字笔划排序)

三门峡职业技术学院
山东大学
山东交通学院
山东建工学院
山东省电子工业学校
山东农业大学
山东省农业管理干部学院
山东省教育学院
山东商业职业技术学院
山西阳泉煤炭专科学校
山西运城学院
山西经济管理干部学院
广州市职工大学
广州铁路职业技术学院
中华女子学院山东分院
中国人民解放军第二炮兵学院
中国矿业大学
中南大学
天津市一轻局职工大学
天津职业技术师范学院
长沙大学
长沙民政职业技术学院
长沙交通学院
长沙航空职业技术学院
长春汽车工业高等专科学校
北京对外经济贸易大学
北京科技大学职业技术学院
北京科技大学成人教育学院
石油化工管理干部学院
石家庄师范专科学校
辽宁交通高等专科学校
华中电业联合职工大学
华中科技大学

华东交通大学
华北电力大学工商管理学院
华北航天工业学院
江汉大学
江西渝州电子工业学院
江西赣西学院
西安外事学院
西安欧亚学院
西安铁路运输职工大学
西安联合大学
孝感职业技术学院
杨陵职业技术学院
昆明冶金高等专科学校
武汉大学动力与机械学院
武汉大学信息工程学院
武汉工业学院
武汉工程职业技术学院
武汉广播电视大学
武汉化工学院
武汉电力职业技术学院
武汉交通管理干部学院
武汉科技大学工贸学院
武汉商业服务学院
武汉理工大学
武汉铁路职业技术学院
河南济源职业技术学院
郑州工业高等专科学校
陕西师范大学
南昌水利水电高等专科学校
哈尔滨金融专科学校
济南大学
济南交通高等专科学校
济南铁道职业技术学院

荆门职业技术学院
贵州无线电工业学校
贵州电子信息职业技术学院
恩施职业技术学院
黄冈职业技术学院
黄石计算机学院
湖北工学院
湖北丹江口职工大学
湖北交通职业技术学院
湖北汽车工业学院
湖北经济管理大学
湖北药检高等专科学校

湖北经济学院
湖北教育学院
湖北鄂州大学
湖北水利水电职业技术学院
湖南大学
湖南工业职业技术学院
湖南计算机高等专科学校
湖南省轻工业高等专科学校
湖南涉外经济学院
湖南郴州师范专科学校
湖南商学院
湖南税务高等专科学校

序

根据 1999 年 8 月教育部高教司制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》)的精神,由中国水利水电出版社北京万水电子信息有限公司精心策划,聘请我国长期从事高职高专教学、有丰富教学经验的教师执笔,在充分汲取了高职高专和成人高等学校在探索培养技术应用性人才方面取得的成功经验和教学成果的基础上,撰写了此套《21 世纪高职高专新概念教材》。

为了编写本套教材,出版社进行了广泛的调研,走访了全国百余所具有代表性的高等专科学校、高等职业技术学院、成人教育高等院校以及本科院校举办的二级职业技术学院,在广泛了解情况、探讨课程设置、研究课程体系的基础上,经过学校申报、征求意见、专家评选等方式,确定了本套书的主编,并成立了编委会。每本书的编委会聘请了多所学校主要学术带头人或主要从事该课程教学的骨干,教学大纲的确定以及教材风格的定位均经过编委会多次认真讨论。

本套《21 世纪高职高专新概念教材》有如下特点:

(1) 面向 21 世纪人才培养的需求,结合高职高专学生的培养特点,具有鲜明的高职高专特色。本套教材的作者都是长期在第一线从事高职高专教育的骨干教师,对学生的基本情况、特点和认识规律等有深入的了解,在教学实践中积累了丰富的经验。因此可以说,每一本书都是教师们长期教学经验的总结。

(2) 以《基本要求》和《培养规格》为编写依据,内容全面,结构合理,文字简练,实用性强。在编写过程中,作者严格依据教育部提出的高职高专教育“以应用为目的,以必需、够用为度”的原则,力求从实际应用的需要(实例)出发,尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念,加强了应用性和实际操作性强的内容。

(3) 采用“问题(任务)驱动”的编写方式,引入案例教学和启发式教学方法,便于激发学习兴趣。本套书的编写思路与传统教材的编写思路不同:先提出问题,然后介绍解决问题的方法,最后归纳总结出一般规律或概念。我们把这个新的编写原则比喻成“一棵大树、问题驱动”的原则。即:一方面遵守先见(构建)“树”(每本书就是一棵大树),再见(构建)“枝”(书的每一章就是大树的一个分枝),最后见(构建)“叶”(每章中的若干小节及知识点)的编写原则;另一方面采用问题驱动方式,每一章都尽量用实际中的典型实例开头(提出问题、明确目标),然后逐渐展开(分析解决问题),在讲述实例的过程中将本章的知识点融入。这种精选实例,并将知识点融于实例中的编写方式,可读性、可操作性强,非常适合高职高专的学生阅读和使用。本书读者通过学习构建本书中的“树”,由“树”找“枝”,顺“枝”摸“叶”,最后达到构建自己所需要的“树”的目的。

(4) 部分教材配有实验指导和实训教程,便于学生练习提高。

(5) 部分教材配有动感电子教案。为顺应教育部提出的教材多元化、多媒体化发展的要求,大部分教材都配有电子教案,以满足广大教师进行多媒体教学的需要。电子教案用 PowerPoint 制作,教师可根据授课情况任意修改。相关教案的具体情况请到中国水利水电出版社网站 www.waterpub.com.cn 下载。

(6) 提供相关教材中所有程序的源代码,方便教师直接切换到系统环境中教学,提高教学效果。

总之,本套教材凝聚了数百名高职高专一线教师多年的教学经验和智慧,内容新颖,结构完整,概念清晰,深入浅出,通俗易懂,可读性、可操作性和实用性强。

本套教材适用于高等职业学校、高等专科学校、成人及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校。

新的世纪吹响了我国高职高专教育蓬勃发展的号角,新世纪对高职教育提出了新的要求,高职教育占据了全面素质教育中所不可缺少的地位,在我国高等教育事业中占有极其重要的位置,在我国社会主义现代化建设事业中发挥着日趋显著的作用,是培养新世纪人才所不可缺少的力量。相信本套《21 世纪高职高专新概念教材》的出版能为高职高专的教材建设和教学改革略尽绵薄之力,因为我们提供的不仅是一套教材,更是自始至终的教育支持,无论是学校、机构培训还是个人自学,都会从中得到极大的收获。

当然,本套教材肯定会有不足之处,恳请专家和读者批评指正。

21 世纪高职高专新概念教材编委会

2001 年 3 月

前 言

随着科学技术的发展,计算机与电子技术在各个领域得到了广泛的应用,而数字逻辑是计算机、电子及相关专业不可缺少的专业技术基础。本书是根据教育部最新制定的《高职高专教育数字电子技术基础课程教学基本要求》来为高职高专的计算机、电子等专业的学生及有关技术人员编写的。

本书在编写中突出基本概念、基本知识,强调数字逻辑设计的思路、方法和步骤,注重实际应用设计。对于各种集成芯片不研究其内部的结构,只注重它的功能,强调掌握它的外部特性,读者不必对芯片的内部电路进行深究,关键是在设计中能灵活地应用它。

全书共9章。第1章数制与编码,介绍了进制的概念、数制之间的转换方法、编码的意义及常用的编码方法。第2章逻辑代数,介绍逻辑代数的基本概念、公理、基本定理和规则,逻辑函数的表示形式、逻辑函数的化简方法。第3章组合逻辑电路,着重讨论了组合逻辑电路分析和设计的方法、步骤,强调了中规模集成电路应用设计方法的特点及各方面的应用。第4章时序逻辑电路概述,讲述了时序逻辑电路的一般结构与分类、描述方法,以基本R-S触发器结构和工作过程分析为基础,推导出其他触发器的功能。第5章同步时序电路,着重讨论了同步时序电路分析和设计的方法、步骤、强调了计数器和寄存器在各方面的应用设计方法及特点。第6章存储器和可编程逻辑器件,介绍了存储器的分类、特点及结构与应用、一些大规模集成电路的逻辑功能、设计方法、应用及开发工具。第7章脉冲波形的产生与变换,主要以555中规模集成时基电路为基础,介绍了实现脉冲波形产生、整形、延时的多谐振荡器、单稳态触发器、施密特触发器电路及应用。第8章数/模和模/数转换,讲述DAC和ADC的工作原理,介绍常用DAC、ADC特点及应用。第9章逻辑门器件,介绍了基本门电路、复合逻辑门以及集成逻辑门电路的基本工作原理、逻辑功能、性能指标、使用范围,数字集成电路接口转换电路。附录介绍了EWB的使用,提供了一个在计算机上进行数字逻辑设计的仿真实验的平台。

每章前有学习目标,强调了应掌握的知识;每章后进行了小结,并提供了大量的习题,读者可以多练习,加深理解。如果结合EWB的使用,将电路的设计在EWB进行仿真实验,可收到意想不到的效果。对于第9章逻辑门器件,在第2章后学习也可,读者可根据自己的需要进行调整。

本书由蔡燕娟、吴娇梅担任主编,叶雪军、吕淑琴、王宏秦、蔡在秋任副主编,其中第1、3、4章由蔡燕娟编写;第2章由叶雪军;第5章由吕淑琴编写;第6章由王宏秦编写;第7、8、9章由吴娇梅编写;附录由蔡在秋编写;陈莹、蔡超参加了部分编写工作。全书由蔡燕娟编写大纲并进行全书统稿、修订、定稿;蔡在秋负责全书的编辑、排版与校对工作。

由于时间仓促及作者水平有限,书中不妥和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2004年8月

目 录

序

前言

第 1 章 数制与编码	1
本章学习目标	1
1.1 进位计数制	1
1.2 数制的转换	3
1.2.1 二进制数转换为十进制数	3
1.2.2 十进制数转换成二进制数	5
1.2.3 二进制数与 2^n 进制数之间的转换	6
1.3 编码	7
1.3.1 BCD 码	7
1.3.2 可靠性编码	10
1.3.3 字符代码	12
小结	13
习题 1	15
第 2 章 逻辑代数	17
本章学习目标	17
2.1 逻辑代数的基本运算	17
2.1.1 或运算	18
2.1.2 与运算	18
2.1.3 非运算	19
2.2 逻辑函数间的相等	20
2.2.1 逻辑函数的定义	20
2.2.2 逻辑函数的表示方法	21
2.2.3 逻辑函数的相等	21
2.3 逻辑代数的公理、基本定律和规则	22
2.3.1 公理	22
2.3.2 基本定理	23
2.3.3 重要规则	23
2.3.4 复合逻辑	26
2.4 逻辑函数的表示形式	28
2.4.1 逻辑函数的基本表示形式	28
2.4.2 最小项和最大项	29

2.4.3 逻辑函数的标准表达式	31
2.5 逻辑函数化简	34
2.5.1 代数化简法	34
2.5.2 卡诺图化简法	36
2.6 逻辑函数化简中的两个实际问题	44
2.6.1 带有任意项的逻辑函数化简	44
2.6.2 多个输出的逻辑函数化简	45
小结	47
习题 2	48
第 3 章 组合逻辑电路	51
本章学习目标	51
3.1 组合电路的分析	52
3.2 组合电路的设计	56
3.2.1 逻辑函数的变换及其实现	57
3.2.2 组合逻辑电路设计举例	59
3.3 组合逻辑中的中规模集成电路	64
3.3.1 编码器	64
3.3.2 译码器	69
3.3.3 数据选择器	75
3.3.4 数据比较器	81
3.3.5 加法器	82
3.4 组合电路的竞争和冒险	87
3.4.1 竞争与冒险	88
3.4.2 冒险的判断	89
3.4.3 冒险的消除	90
小结	92
习题 3	92
第 4 章 时序逻辑电路概述	97
本章学习目标	97
4.1 时序逻辑电路模型	97
4.2 同步时序电路的描述方法	98
4.2.1 代数法	98
4.2.2 状态表	99
4.2.3 状态图	100
4.2.4 时序图(时间波形图)	102
4.3 触发器	103
4.3.1 基本 R-S 触发器	103

4.3.2	钟控触发器	105
4.3.3	主从触发器	111
4.3.4	边沿触发器	112
4.4	触发器之间的转换	114
4.4.1	D 触发器转换成其他逻辑功能的触发器	114
4.4.2	J-K 触发器转换成其他逻辑功能的触发器	116
小结		117
习题 4		119
第 5 章	同步时序电路	122
本章学习目标		122
5.1	同步时序电路分析	122
5.1.1	代数法	123
5.1.2	列表法	126
5.2	同步时序电路设计	127
5.2.1	建立原始状态表和状态图	128
5.2.2	状态化简	130
5.2.3	状态编码	136
5.2.4	确定激励函数和输出函数表达式	137
5.2.5	画出逻辑电路图	140
5.2.6	一般同步时序逻辑设计举例	140
5.2.7	典型同步时序电路的设计	143
5.3	时序集成器件的应用	146
5.3.1	寄存器	146
5.3.2	计数器	155
5.3.3	异步计数器	159
小结		162
习题 5		162
第 6 章	存储器和可编程逻辑器件	167
本章学习目标		167
6.1	存储器	167
6.1.1	存储器的分类及特点	167
6.1.2	只读存储器 (ROM)	167
6.1.3	随机存储器 (RAM)	173
6.2	可编程逻辑器件	178
6.2.1	PLD 电路的表示方法	179
6.2.2	可编程逻辑阵列 PLA	181
6.2.3	可编程阵列逻辑 PAL	183

6.2.4 通用阵列逻辑 GAL.....	189
6.2.5 PAL 和 GAL 器件的开发工具和编程.....	193
小结	204
习题 6.....	205
第 7 章 脉冲波形的产生与变换.....	206
本章学习目标	206
7.1 集成时基电路	206
7.1.1 555 电路的结构	207
7.1.2 555 电路的逻辑功能	208
7.1.3 双极型和 CMOS 型 555 的性能比较.....	209
7.2 施密特触发器	210
7.2.1 概述	210
7.2.2 集成施密特触发器	211
7.2.3 用 555 电路构成的施密特触发器	212
7.2.4 施密特触发器的应用	213
7.3 单稳态触发器	214
7.3.1 概述	214
7.3.2 集成单稳态触发器	215
7.3.3 用 555 电路构成的单稳态触发器	217
7.3.4 单稳态触发器的应用	218
7.4 多谐振荡器	219
7.4.1 概述	219
7.4.2 石英晶体多谐振荡器	219
7.4.3 用 555 电路构成的多谐振荡器	221
小结	222
习题 7	223
第 8 章 数/模和模/数转换.....	225
本章学习目标	225
8.1 概述	225
8.2 数/模转换器 (DAC)	226
8.2.1 R-2R 倒 T 型电阻网络 D/A 转换器	226
8.2.2 D/A 转换器的主要指标	229
8.2.3 集成 DAC.....	229
8.3 模/数转换器 (ADC)	233
8.3.1 模/数转换器的基本原理	233
8.3.2 常见的 A/D 转换器	235
8.3.3 集成 ADC.....	242

小结	244
习题 8	244
第 9 章 逻辑门器件	245
本章学习目标	245
9.1 晶体管的开关特性	245
9.1.1 二极管的开关特性	245
9.1.2 三极管的开关特性	246
9.2 基本逻辑门和复合逻辑门	247
9.2.1 基本逻辑门	248
9.2.2 复合逻辑门	250
9.2.3 TTL 集成逻辑电路	251
9.3 其他类型的 TTL 门电路	257
9.3.1 集电极开路门 (OC 门)	258
9.3.2 三态输出门 (TSL 门)	262
9.3.3 TTL 集成电路系列简介	263
9.4 MOS 逻辑门	263
9.4.1 CMOS 反相器	264
9.4.2 CMOS 传输门	264
9.4.3 CMOS 门电路使用特点	265
9.4.4 CMOS 与 TTL 电路的接口	266
9.4.5 CMOS 电路操作保护措施	266
小结	267
习题 9	267
附录 Electronics Workbench5.0 (电子学工作台) 简介	269
参考文献	289

第 1 章 数制与编码

本章学习目标

数字电路处理的是二进制数字信号，而人们熟悉的是十进制数，本章作为数字电路的基础，介绍进位计数制及表示方法、进制之间的转换及编码。通过本章学习，应掌握如下几点：

- 理解进位计数制，掌握数的表示方法。
- 掌握进制之间的转换方法。
- 理解编码的概念，掌握 8421BCD 码、格雷码、奇偶校验码的编码方法，熟悉字符代码（ASCII 码）。

1.1 进位计数制

进位计数制是用一组统一的符号和规则来表示数的方法，也称为数制。我们日常生活中经常遇到很多不同的进位计数制，例如：十进制，“逢十进一”；钟表计时，一般采用六十进制，即六十秒为一分、六十分为一小时；此外，还有一些特殊的进位计数制，例如：“一打”袜子为十二双；“一打”铅笔为十二支等，这就是十二进制。

以我们最熟悉的十进制为例，它有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个有序的数字符号（简称数符）和一个小数点符号。其计数规律是，当数值比 9 大 1 时，则向相邻的高位进 1，以 10 表示，称为“逢十进一”；向相邻高位借位时，则“借一当十”。进位计数制中允许使用的计数符号的个数称为该数制的基数，十进制的计数符号有 10 个，基数就是 10。计数制实际就是以数符的个数来命名的。

十进制虽然只有十个数符，但任何有限数的数值都可按位置排列数符的方法来表示，称为位置记数法。

$$(N)_{10} = (d_{n-1} d_{n-2} \cdots d_1 d_0 . d_{-1} d_{-2} \cdots d_{-m}) \quad (1-1)$$

例如，十进制数 345.37

	3	4	5	.	3	7
	↓	↓	↓		↓	↓
代表	3×10^2	4×10^1	5×10^0	.	3×10^{-1}	7×10^{-2}

从以上对应关系可以看出，数符所处的位置不同，所代表的数值也不同。从小数点开始往左，按个位（ 10^0 ）、十位（ 10^1 ）、百位（ 10^2 ）……往上升；而小数点往右，则按十分位（ 10^{-1} ）、百分位（ 10^{-2} ）……往下降。基数 10 的幂 10^i 称为第 i 位上的“位权”，也称为

权值或位值。十进制数 345.37 从左至右各位的位权分别是 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} ，因此两个 3 所在位置不同，位权不同，所代表的数值就不同，一个是 $3 \times 10^2 = 300$ ，另一个则是 $3 \times 10^{-1} = 0.3$ 。按照上述位、数排列的原则，345.37 按位权展开的形式如下：

$$(345.37)_{10} = 3 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 3 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

称为多项式表示法，对于任意一个十进制数 N，用多项式表示法可以表示为：

$$\begin{aligned} (N)_{10} &= d_{n-1} \times 10^{n-1} + d_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 \\ &\quad + d_{-1} \times 10^{-1} + d_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + d_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中，n：整数的位数；m：小数的位数； d_i ：系数， $0 \leq d_i \leq 9$ ， $-m \leq i \leq n-1$ ；

10：进位制的基数； 10^i ：第 i 位的位权

式 (1-1) 和式 (1-2) 的这种进位计数制的表示方法可以推广到任意的 R 进位计数制。对基数为 R 的进位计数制来说，数 $(N)_R$ 也可以用以下两种方法表示：

位置记数法

$$(N)_R = (A_{n-1}A_{n-2} \cdots A_1A_0 \cdot A_{-1}A_{-2} \cdots A_{-m}) \quad (1-3)$$

多项式表示法：

$$\begin{aligned} (N)_R &= A_{n-1} \times R^{n-1} + A_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + A_1 \times R^1 + A_0 \times R^0 \\ &\quad + A_{-1} \times R^{-1} + A_{-2} \times R^{-2} + \cdots + A_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} A_i \times R^i \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中，n：整数的位数；m：小数的位数； A_i ：系数， $0 \leq A_i \leq R-1$ ， $-m \leq i \leq n-1$ ；

R：进位制的基数； R^i ：第 i 位的位权。

当进位制的基数 $R=2$ 时，称为二进制计数制，简称二进制。二进制中只有两个数符 0、1，其计数的规律是：逢二进一，借一当二。对任意一个二进制数 N，可以用位置记数法表示为：

$$(N)_2 = (b_{n-1}b_{n-2} \cdots b_1b_0 \cdot b_{-1}b_{-2} \cdots b_{-m})_2 \quad (1-5)$$

多项式表示法表示为：

$$\begin{aligned} (N)_2 &= b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 \\ &\quad + b_{-1} \times 2^{-1} + b_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中，n：整数的位数；m：小数的位数； d_i ：系数， $0 \leq d_i \leq 1$ ， $-m \leq i \leq n-1$ ；

2：进位制的基数； 2^i ：第 i 位的位权

例如：二进制数 1011.011 用多项式表示法可以表示为：

$$(1011.011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

二进制在数字系统和计算机中被广泛采用，它具有如下特点：

(1) 具有完整的理论。逻辑代数是二值代数，二进制是二值计数，它们之间存在着对应关系，因此可以用逻辑代数的理论来设计二进制数字系统。

(2) 实现容易。二进制只有两个数符 0 和 1，它的每一位可以用任何具有两个不同稳定状态的元件或电路来表示，如脉冲的有、无这两种不同的状态可以分别表示二进制的 0、1；也可以用开关的断开与闭合、电压的高低、信号的正负、晶体管的饱和与截止等来表示二进制数的 0、1，而这些元件制造或电路设计比多个稳定状态元件或电路简单，容易物理实现。

(3) 运算简单。二进制的运算规则：

加法规则

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1 + 0 = 1$$

$$1 + 1 = 10$$

乘法规则

$$0 \times 0 = 0$$

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

$$1 \times 1 = 1$$

二进制的运算规则非常简单，因此实现这种运算对应的电路也就简单。

二进制数虽然在数字电路和计算机中容易实现，然而它最大的缺点是书写长，读和写都不方便。为了简洁地表示一个很长的二进制数，常采用基数为 2^n 的进位计数制，广泛使用的是八 (2^3) 进制和十六 (2^4) 进制。八进制和十六进制便于书写，读和写都很容易，且与二进制数之间的转换特别简单、方便。

八进制的基数 $R = 8$ ，有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个数符，其计数规则是：逢八进一，借一当八。

十六进制的基数 $R = 16$ ，有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 十六个数符，其中 A—F，代表十进制数的 10—15。十六进制数的计数规则是：逢十六进一，借一当十六。

为了便于区分，在数的尾上用字母表示各进制数。B 表示二进制；O 表示八进制；D 表示十进制；H 表示十六进制。也可以用小写字母表示，通常十进制数 D 或 d 可以省略。

例如：111010B、87O、32、4CFH

也可以表示为：(111010)_B、(87)_O、(32)、(4CF)_H

1.2 数制的转换

1.2.1 二进制数转换为十进制数

一个二进制数按其权位展开表示为：

$$(N)_2 = b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 \\ + b_{-1} \times 2^{-1} + b_{-2} \times 2^{-2} + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m}$$