

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



数字电路与逻辑设计

朱定华



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



数字电路与逻辑设计

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了数字逻辑基础、集成逻辑门、组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析与设计、常用组合逻辑功能器件和时序逻辑功能器件、数模与模数转换器、脉冲信号的产生与变换、可编程逻辑器件及现代数字系统设计等。

本书内容精练、实例丰富,应用性强,并附有习题解答,便于教学和自学。本书可作为高等学校通信、信息、光电、计算机、自动化、电子、电力系统及自动化等电类专业和机电一体化、生物技术等非电类专业的本科和专科学生电子技术基础课程的教材。也可以供从事电子技术、计算机应用与开发的科研人员和工程技术人员学习参考,还适于初学者自学使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计/朱定华编著. —北京:清华大学出版社,2011.2
(21世纪高等学校规划教材·电子信息)

ISBN 978-7-302-24270-3

I. ①数… II. ①朱… III. ①数字电路—逻辑设计 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 250033 号

责任编辑:魏江江

责任校对:梁毅

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62795954, jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:18.25 字 数:453千字

版 次:2011年2月第1版 印 次:2011年2月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.50元

产品编号:040635-01

编审委员会成员

(按地区排序)

东南大学	王志功	教授
南京大学	王新龙	教授
南京航空航天大学	王成华	教授
解放军理工大学	邓元庆	教授
	刘景夏	副教授
上海大学	方勇	教授
上海交通大学	朱杰	教授
	何晨	教授
华中科技大学	严国萍	教授
	朱定华	教授
华中师范大学	吴彦文	教授
武汉理工大学	刘复华	教授
	李中年	教授
宁波大学	蒋刚毅	教授
天津大学	王成山	教授
	郭维廉	教授
中国科学技术大学	王煦法	教授
	郭从良	教授
	徐佩霞	教授
苏州大学	赵鹤鸣	教授
山东大学	刘志军	教授
山东科技大学	郑永果	教授
东北师范大学	朱守正	教授
沈阳工业学院	张秉权	教授
长春大学	张丽英	教授
吉林大学	林君	教授
湖南大学	何怡刚	教授
长沙理工大学	曾喆昭	教授
华南理工大学	冯久超	教授
西南交通大学	冯全源	教授

重庆工学院
重庆通信学院
重庆大学
重庆邮电学院

西安电子科技大学

西北工业大学
集美大学
云南大学
东华大学

金炜东 教授
余成波 教授
曾凡鑫 教授
曾孝平 教授
谢显中 教授
张德民 教授
彭启琮 教授
樊昌信 教授
何明一 教授
迟 岩 教授
刘惟一 教授
方建安 教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程(简称‘质量工程’)”,通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上;精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与计算机应用。
- (7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

清华大学出版社经过二十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail: weijj@tup.tsinghua.edu.cn

前言

当今信息科学技术日新月异,特别是微电子技术和信息处理技术的迅猛发展,“数字电路与逻辑设计”课程已成为许多学科开设的一门重要的学科基础课。随着对 21 世纪人才培养目标的重新定位,对本课程进行与时俱进的教学改革的呼声越来越强烈,本书就是在长期致力于本课程教学改革实践的基础上编写的。

本课程的主要任务是为学生学习专业课程和从事技术工作奠定数字电路的理论基础,并使他们受到这方面必要的基本技能的训练。为此,本书对传统的内容进行了精选和更新,避开了高深的理论,简明扼要地介绍学生最需要的基础知识和技术。通过通俗易懂的语言讲授计算机技术的基础知识,对集成电路的讨论强化“外部”,淡化“内部”,注重实用性和创新意识的培养。此外,本书在内容上吸收了新技术和新的研究成果,使学生能了解目前应用较广或带有方向性的新技术,减少了小规模数字集成电路的内容,突出了中、大规模数字集成电路的应用和数字系统设计等内容,并增加了对电子设计自动化等内容的介绍。本书还通过实例、例题和习题说明理论的实际应用,以加深学生对本书内容的掌握和理解。

本书讨论的内容主要包括以下几个部分:

(1) 数字逻辑基础:这部分内容集中在第 1 章。介绍了数字电路的理论基础、逻辑函数的各种描述方法和化简方法,基本逻辑门电路和运算等内容。这些内容是分析和设计数字电路的基础,贯穿了全书的始终。

(2) 数字电路的分析、设计方法和常用集成逻辑器件:这部分内容集中在第 2 章、第 3 章和第 4 章。介绍了组合逻辑电路和时序逻辑电路的分析与设计方法,以及常用的集成逻辑模块及其应用。

(3) 数字电路系统设计与电子设计自动化:这部分内容集中在第 5 章和第 6 章。通过数字系统的基本概念和实用设计方法介绍,使读者在学习数字电路的基本内容后,能够了解数字系统的概念,掌握数字系统设计的基本方法,进而能够从系统的高度来分析和解决实际问题。着重介绍了电子设计自动化(EDA)的基本概念、Verilog HDL 语言及其应用,以及典型 EDA 软件 Quartus II 的使用方法,使读者与时俱进地进入到数字电路与系统设计的现代化王国,深入体会技术进步所带来的方便与喜悦。

(4) 脉冲产生变换电路与数模接口电路:这部分内容集中在第 7 章和第 8 章。第 7 章介绍了各种脉冲信号的产生与变换电路。第 8 章介绍了数字电路和模拟电路之间的接口电路。

本书由朱定华编写。参加本书编写工作的人员还有饶志强、吴建新、周斌、蔡红娟、蔡苗、翟晟、黄松、吕建才、陈艳、林卫、程萍、林威等。

由于我们的水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请批评指出。

编者

2010 年 10 月于武昌

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数制和代码	1
1.1.1 十进制数和二进制数	1
1.1.2 十六进制和八进制	2
1.1.3 不同进制数之间的转换	3
1.1.4 二进制符号数的表示法	5
1.1.5 二进制代码	7
1.2 逻辑运算	10
1.2.1 基本逻辑运算	10
1.2.2 复合逻辑运算	11
1.2.3 正负逻辑问题	13
1.3 逻辑门电路	14
1.3.1 晶体管的开关特性	14
1.3.2 基本逻辑门电路	16
1.3.3 TTL 集成门电路	17
1.3.4 CMOS 逻辑电路	24
1.4 逻辑函数的代数化简法	25
1.4.1 基本公式和定律	25
1.4.2 基本运算规则	29
1.4.3 逻辑函数代数法化简	30
1.5 逻辑函数的卡诺图化简法	32
1.5.1 最小项的定义及其性质	32
1.5.2 卡诺图	34
1.5.3 逻辑函数的卡诺图表示	35
1.5.4 逻辑函数卡诺图化简	36
1.5.5 具有约束的逻辑函数化简	38
1.6 逻辑函数的描述方法及转换	40
1.6.1 逻辑函数的描述方法	40
1.6.2 几种描述方法之间的转换	42
本章小结	44
习题	45

第 2 章 组合逻辑电路	50
2.1 组合逻辑电路的分析与设计	50
2.1.1 组合逻辑电路的分析	50
2.1.2 组合逻辑电路的设计	52
2.2 组合逻辑电路中的竞争冒险	56
2.2.1 产生竞争冒险的原因	56
2.2.2 竞争冒险的判断	57
2.2.3 消除竞争冒险的方法	58
2.3 加法器与算术逻辑单元	59
2.3.1 半加器和全加器	60
2.3.2 集成加法器	61
2.3.3 算术逻辑单元	65
2.4 数值比较器	65
2.4.1 数值比较器的设计	66
2.4.2 集成数值比较器	68
2.5 编码器	70
2.5.1 编码器的工作原理	70
2.5.2 集成优先编码器	74
2.6 译码器与数据分配器	76
2.6.1 译码器的分析及设计	77
2.6.2 集成译码器	79
2.6.3 数据分配器	86
2.7 数据选择器	88
2.7.1 数据选择器的类型及功能	88
2.7.2 集成数据选择器	91
本章小结	95
习题	95
第 3 章 时序逻辑基础	101
3.1 RS 触发器	101
3.1.1 RS 触发器的工作原理和逻辑功能	101
3.1.2 集成 RS 触发器 74LS279	103
3.1.3 RS 触发器应用	104
3.2 D 触发器	105
3.2.1 逻辑电路与逻辑符号	105
3.2.2 工作原理	105
3.2.3 逻辑功能描述	106
3.2.4 集成 D 触发器 74LS74	107

3.3 JK 触发器	108
3.3.1 逻辑电路与逻辑符号	108
3.3.2 逻辑功能描述	108
3.3.3 集成 JK 触发器	110
3.4 T 触发器	111
3.4.1 逻辑电路与逻辑符号	111
3.4.2 逻辑功能描述	111
3.5 触发器的电气特性	112
本章小结	113
习题	114
第 4 章 时序逻辑电路	119
4.1 时序逻辑电路概述	119
4.1.1 时序逻辑电路的特点	119
4.1.2 时序电路逻辑功能的描述方法	119
4.1.3 时序电路逻辑的分类	120
4.2 时序逻辑电路的分析	120
4.2.1 时序逻辑电路分析的一般步骤	120
4.2.2 同步时序逻辑电路的分析举例	121
4.2.3 异步时序逻辑电路的分析举例	126
4.3 时序逻辑电路的设计	128
4.3.1 同步时序逻辑电路的设计	128
4.3.2 异步时序逻辑电路的设计	136
4.4 常用的集成时序逻辑电路	138
4.4.1 寄存器与移位寄存器	138
4.4.2 计数器	142
4.4.3 顺序脉冲发生器	153
4.4.4 序列信号发生器	153
习题	154
第 5 章 Verilog HDL	159
5.1 Verilog 的基本语法规则	159
5.1.1 变量的数据类型	160
5.1.2 Verilog 程序的基本结构	162
5.1.3 Verilog HDL 的基本语句	163
5.2 组合逻辑电路的门级建模	168
5.2.1 设计举例	169
5.2.2 组合逻辑电路的数据流建立	172
5.2.3 数据流建模举例	174

5.3	组合逻辑电路的行为级建模	175
5.3.1	组合逻辑电路的行为级建模举例	176
5.3.2	时序逻辑电路建模基础	177
5.4	锁存器和触发器的 Verilog 建模实例	179
5.4.1	描述举例	179
5.4.2	设计举例	180
	本章小结	182
	习题	182
第 6 章	数字电路系统设计	184
6.1	数字电路系统设计基础	184
6.1.1	数字电路系统的组成与类别	184
6.1.2	数字电路系统的设计步骤	185
6.1.3	数字电路系统的设计方法	187
6.1.4	数字电路系统的实现	187
6.2	可编程逻辑器件	189
6.2.1	PLD 电路的表示方法	189
6.2.2	可编程阵列逻辑器件	192
6.2.3	可编程通用阵列逻辑器件	193
6.3	Quartus II 集成开发工具	198
6.3.1	Quartus II 集成开发环境简介	198
6.3.2	Quartus II 的基本设计流程	199
6.3.3	Quartus II 的基本设计步骤	200
6.3.4	Quartus II 的基本设计输入方法	201
6.3.5	Quartus II 的设计应用举例	203
	本章小结	215
	习题	216
第 7 章	脉冲信号的产生与变换	217
7.1	多谐振荡器	217
7.1.1	环形多谐振荡器	217
7.1.2	石英晶体多谐振荡器	219
7.2	单稳态触发器	221
7.2.1	用门电路组成的单稳态触发器	221
7.2.2	集成单稳态触发器	223
7.2.3	单稳态触发器的应用	226
7.3	施密特触发器	227
7.3.1	门电路组成的施密特触发器	228
7.3.2	集成施密特触发器	229

7.3.3 施密特触发器的应用·····	229
7.4 555 定时器及其应用·····	230
7.4.1 555 定时器的电路结构与功能·····	230
7.4.2 555 定时器的应用·····	232
本章小结·····	234
习题·····	235
第 8 章 数模与模数转换器·····	237
8.1 数模转换器·····	237
8.1.1 数模转换的基本知识·····	237
8.1.2 常用数模转换技术·····	239
8.1.3 数模转换器的性能指标·····	242
8.1.4 集成数模转换器及其应用·····	243
8.2 模数转换器·····	244
8.2.1 模数转换的基本知识·····	244
8.2.2 常用模数转换技术·····	246
8.2.3 模数转换器的性能指标·····	252
8.2.4 集成模数转换器及其应用·····	253
本章小结·····	254
习题·····	255
习题答案·····	258

数字逻辑基础

在实际生活中,存在着两类物理量:一类称为数字量,它具有时间上离散变化、值域内只能取某些特定值的特点;另一类称为模拟量,它具有时间上连续变化、值域内任意取值的特点。在电子设备中,数字量和模拟量都是以电信号形式出现的。人们常常将表示模拟量的电信号称为模拟信号,将表示数字量的电信号称为数字信号。数字信号是一种脉冲信号,脉冲信号具有边沿陡峭、持续时间短的特点。广义地讲,凡是正弦信号都称为脉冲信号。

将产生、存储、变换、处理、传送数字信号电子电路称为数字电路。数字电路不仅能够完成算术运算,而且能够完成逻辑运算。它具有逻辑推理和逻辑判断的能力,因此它也被称为数字逻辑电路或逻辑电路。在逻辑电路中,输入量和输出量的稳定状态通常都用电位的高和低、脉冲的有和无来表示,因此逻辑电路的输入和输出可以抽象为逻辑命题的真和假。若用“1”表示逻辑电路的高电平(真),则用“0”表示的就是低电平(假)。分析和设计逻辑电路的基本数学工具是逻辑代数,逻辑代数是研究二进制数运算的学科。因此在讨论逻辑运算和逻辑电路之前,首先介绍二进制数、二进制数和十进制数之间的转换以及在逻辑电路中经常采用的几种二进制代码。

1.1 数制和代码

日常生活中有许多不同的进位计数制(简称为数制),最常用的数制是十进制,而在数字系统中,多采用二进制数,有时也采用八进制数或十六进制数。为了总结各种进制数的共同特点,首先归纳十进制数的特点。

1.1.1 十进制数和二进制数

1. 十进制数

十进制是最常使用的计数进位制。这种计数进位制的每一位数都用0~9十个数码中的一个数码来表示,所以计数基数是10。超过9的数则需用多位数表示,其中低位数和相邻高位之间的关系是逢十进一,故称为十进制,例如:

$$2019 = 2 \times 10^3 + 0 \times 10^2 + 1 \times 10^1 + 9 \times 10^0$$

其中,10称为基数, $10^0, 10^1, 10^2, 10^3$ 称为各位数的“权”。十进制数的个位的权为1,十位的权为10,百位的权为100……。任何一个十进制数 N_D 可表示为:

$$N_D = d_{n-1} \times 10^{n-1} + d_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + d_1 \times 10^1 + d_0 \times 10^0 + \dots + d_{-m} \times 10^{-m}$$

$$= \sum_{i=-m}^{n-1} d_i \times 10^i$$

式中, d_i 为各位数的数码, 10^i 为各位数的权, 所对应的数值为 $d_i \times 10^i$ 。

2. 二进制数

在数字系统中, 应用最广泛的数是二进制数。在二进制数中, 每一位仅有 0 和 1 两个可能的数码, 所以计数基数是 2。低位和相邻的高位之间的进位关系是逢二进一, 故称为二进制。任意一个二进制数 N_B 的展开式为:

$$\begin{aligned} N_B &= b_{n-1} \times 2^{n-1} + b_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + b_1 \times 2^1 + b_0 \times 2^0 + \cdots + b_{-m} \times 2^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} b_i \times 2^i \end{aligned}$$

其中, 2 称为基数, 2^i 为各位数的权, b_i 为各位数的数码。例如一个二进制数 1110.011 可展开为:

$$1110.011 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

从二进制数的特点中可以看到它具有的优点。第一, 只有两个数码, 只需反映两种状态的元件就可表示一位数。因此, 构成二进制数电路的基本单元结构简单; 第二, 储存和传递可靠; 第三, 运算简便。所以在数字系统中都使用二进制数。

在数字系统中, 二进制数的加、减运算使用最多。十进制数的加、减运算规则是逢十进一, 借一还十。同理, 二进制数的加、减运算规则是逢二进一, 借一还二。例如计算二进制数: $1101+1110$ 和 $11101-10110$, 计算过程如下:

$$\begin{array}{r} 1101 \\ + 1110 \\ \hline 11011 \end{array} \quad \begin{array}{r} 11101 \\ - 10110 \\ \hline 00111 \end{array}$$

1.1.2 十六进制和八进制

1. 十六进制

十六进制的每一位数都有 16 种可能出现的数字, 分别用 0~9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14) 及 F(15) 表示。低位数和高一位数之间的关系是逢十六进一。任意一个十六进制数均可展开为:

$$\begin{aligned} N_H &= h_{n-1} \times 16^{n-1} + h_{n-2} \times 16^{n-2} + \cdots + h_1 \times 16^1 + h_0 \times 16^0 + h_{-1} \times 16^{-1} + \cdots + h_{-m} \times 16^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} h_i \times 16^i \end{aligned}$$

其中, 16 称为基数, 16^i 为各位数的权, h_i 为 i 位数的数码。例如一个十六进制数 2A.7F 可展开为:

$$\begin{aligned} 2A.7F &= 2 \times 16^1 + A \times 16^0 + 7 \times 16^{-1} + F \times 2^{-2} \\ &= 2 \times 16 + 10 \times 1 + \frac{7}{16} + \frac{15}{16^2} \\ &= 42.4961 \end{aligned}$$

2. 八进制

在八进制数中,每一位用0~7八个数码表示,所以计数基数为8。低位数和高一位数之间的关系是逢八进一。任何一个八进制数都可以展开为:

$$\begin{aligned} N_0 &= o_{n-1} \times 8^{n-1} + o_{n-2} \times 8^{n-2} + \cdots + o_1 \times 8^1 + o_0 \times 8^0 + o_{-1} \times 8^{-1} + \cdots + o_{-m} \times 8^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} o_i \times 8^i \end{aligned}$$

其中,8称为基数, 8^i 为各位数的权, o_i 为*i*位数的数码。

上述表示方法可以推广到任意的*R*进制。在*R*进制中有*R*个数码,基数为*R*,其各位数码的权是*R*的幂。因而一个*R*进制数可表示为:

$$\begin{aligned} (N)_R &= a_{n-1} \cdots a_0 a_{-1} \cdots a_{-m} \\ &= a_{n-1} \times R^{n-1} + a_{n-2} \times R^{n-2} + \cdots + a_0 \times R^0 + a_{-1} \times R^{-1} + \cdots + a_{-m} \times R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times R^i \end{aligned}$$

1.1.3 不同进制数之间的转换

由于目前在微型计算机中多半采用8位或16位二进制数并行运算,而8位和16位二进制数可以用2位和4位十六进制数来表示,所以用十六进制符号书写程序就十分方便。同时,十六进制数和十进制数之间的转换又非常简单,这就使得十六进制的应用比八进制的应用还要广泛。为此,要熟练地掌握十进制数、二进制数和十六进制数间的相互转换。它们之间的关系如表1-1所示。

表 1-1 十进制数、二进制数及十六进制数对照表

十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
二进制数	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
十六进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

为了区别十进制数、二进制数及十六进制数三种数制,可在数的右下角注明数制,或者在数的后面加一字母。如B(binary)表示二进制数制;D(decimal)或不带字母表示十进制数制;H(hexadecimal)表示十六进制数制。

1. 二进制数转换为十六进制数

由于4位二进制数恰好有16个状态,而且当把这4位二进制数看成一个数位时,它向高位的进位又正好是逢十六进一,所以可以用4位二进制数代表1位十六进制数。因此根据表1-1所示的对应关系即可实现二进制数和十六进制数之间的转换。

二进制整数转换为十六进制数,其方法是从小数点向左将二进制整数部分分组,每4位为一组,最后一组若不足4位则在其左边添加0以凑成4位一组,并分别代之以相应的十六进制数就可以了。对于小数部分的转换,则应从小数点向右将二进制小数部分分组,每4位为一组,最后一组若不足4位则在其右边添加0以凑成4位一组,然后分别代之以相应的十六进制数。例如:

1011110. 1011001 B=0101 1110. 1011 0010 B=5 E. B 2 H

2. 十六进制数转换为二进制数

十六进制数转换为二进制数,只需用 4 位二进制数代替 1 位十六进制数即可。如:

$$8FA.C6H=1000\ 1111\ 1010.1100\ 0110\ B$$

3. 十六进制数转换为十进制数

十六进制数转换为十进制数十分简单,只需将十六进制数按权展开相加即可。如:

$$\begin{aligned} 1F3D.5H &= 16^3 \times 1 + 16^2 \times 15 + 16^1 \times 3 + 16^0 \times 13 + 16^{-1} \times 5 \\ &= 4096 \times 1 + 256 \times 15 + 16 \times 3 + 1 \times 13 + 0.0625 \times 5 \\ &= 4096 + 3840 + 48 + 13 + 0.3125 = 7997.3125 \end{aligned}$$

4. 十进制数转换为十六进制数

十进制整数转换一般采用“除基取余”法。将十进制数不断除以将转换进制的基数,直至商为 0;每除一次取余数,依次从低位排向高位。最后由余数排列的数就是转换的结果。十六进制整数转换为十进制整数可用除 16 取余法,即用 16 不断地去除待转换的十进制数,直至商等于 0 为止。将所得的各次余数,依倒序排列,即可得到所转换的十六进制数。如将 38947 转换为十六进制数,其方法及算式如下:

$$\begin{array}{r} 16 \overline{) 38947} \quad 3 \\ \underline{16 \quad 2434} \quad 2 \\ \quad 16 \overline{) 152} \quad 8 \\ \quad \quad \underline{16 \quad 9} \quad 9 \\ \quad \quad \quad 0 \end{array}$$

即 $38947=9823H$ 。

十进制小数转换可用“乘基取整”法。用基数反复乘以转换数的小数部分,直到小数部分为 0 或达到转换精度要求的位数(小数部分永不为 0,可根据精度要求的位数决定转换后的小数位数),依次取积的整数(为十进制数),从最高小数位排到最低小数位。如将 0.6875 转换为十六进制数,其方法及算式如下:

$$\begin{array}{r} 0.6875 \\ \times \quad 16 \\ \hline 41250 \\ + \quad 6875 \\ \hline 11.0000 \quad \dots\dots B(\text{十进制数 } 11 \text{ 等于十六进制数 } B) \end{array}$$

即 $0.6875=0.BH$ 。

如将 39.625 转换为十六进制数,算式如下:

$$\begin{array}{r} 16 \overline{) 39} \quad \dots\dots 7 \\ \underline{16 \quad 2} \quad \dots\dots 2 \\ \quad 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0.625 \\ \times \quad 16 \\ \hline 3750 \\ + \quad 625 \\ \hline 10.000 \quad \dots\dots A \end{array}$$

即 $39.625=27.AH$ 。