



浙江省高等教育重点建设教材
应用型本科规划教材

DIGITAL ELECTRONIC TECHNIQUE

数字电子技术

◆ 主 编 黄瑞祥
副主编 范勤儒 包晓敏 瞿 晓
王 荃 屈民军



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

浙江省高等教育重点建设教材
应用型本科规划教材

数字电子技术

主 编 黄瑞祥
副主编 范勤儒 包晓敏
瞿 晓 王 荃
屈民军

浙江大学出版社

内 容 提 要

本书是浙江省高等教育重点建设教材,由来自于多所高校的多年从事数字电子技术教学和研究的教师合作完成。以“精心组织、保证基础、精选内容、面向应用”为编写原则,强调基础性、系统性和实用性。

全书共分九章,内容包括逻辑代数基础、门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、可编程逻辑器件、Verilog HDL 硬件描述语言、脉冲的产生和整形电路、数模(D/A)和模数(A/D)转换电路。每章均有小节和与内容相适应的习题。

本书可以作为高等院校信息电子类、自动化类、计算机类、通信工程、测控技术与仪器等专业的教材,也可供其他从事电子技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术 / 黄瑞祥主编. —杭州:浙江大学出版社, 2008.1

应用型本科规划教材

ISBN 978-7-308-05020-3

I. 数… II. 黄… III. 数字电路—电子技术—高等学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第134167号

数字电子技术

黄瑞祥 主编

-
- | | |
|------|--|
| 丛书策划 | 樊晓燕 |
| 责任编辑 | 樊晓燕 何 瑜 |
| 封面设计 | 刘依群 |
| 出版发行 | 浙江大学出版社
(杭州市天目山路148号 邮政编码310028)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)
(网址: http://www.zjupress.com
http://www.press.zju.edu.cn)
电话:0571-88925592,88273066(传真) |
| 排 版 | 浙江大学出版社电脑排版中心 |
| 印 刷 | 杭州杭新印务有限公司 |
| 开 本 | 787mm×1092mm 1/16 |
| 印 张 | 21.25 |
| 字 数 | 517千 |
| 版 次 | 2008年1月第1版 2008年1月第1次印刷 |
| 印 数 | 0001—3000 |
| 书 号 | ISBN 978-7-308-05020-3 |
| 定 价 | 34.00元 |
-

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522

应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列

编委会

主任 顾伟康

副主任 王 薇 沈继忠 梁 丰

委员 (以姓氏笔画为序)

方志刚 古 辉 李 伟

何杞鑫 林雪明 张增年

唐向宏 夏哲雷 钱贤民

蔡伟健

总 序

近年来我国高等教育事业得到了空前的发展,高等院校的招生规模有了很大的扩展,在全国范围内发展了一大批以独立学院为代表的应用型本科院校,这对我国高等教育的持续、健康发展具有重大的意义。

应用型本科院校以着重培养应用型人才为目标,目前,应用型本科院校开设的大多是一些针对性较强、应用特色明确的本科专业,但与此不相适应的是,当前,对于应用型本科院校来说作为知识传承载体的教材建设远远滞后于应用型人才培养的步伐。应用型本科院校所采用的教材大多是直接选用普通高校的那些适用研究型人才培养的教材。这些教材往往过分强调系统性和完整性,偏重基础理论知识,而对应用知识的传授却不足,难以充分体现应用类本科人才的培养特点,无法直接有效地满足应用型本科院校的实际教学需要。对于正在迅速发展的应用型本科院校来说,抓住教材建设这一重要环节,是实现其长期稳步发展的基本保证,也是体现其办学特色的基本措施。

浙江大学出版社认识到,高校教育层次化与多样化的发展趋势对出版社提出了更高的要求,即无论在选题策划,还是在出版模式上都要进一步细化,以满足不同层次的高校的教学需求。应用型本科院校是介于普通本科与高职之间的一个新兴办学群体,它有别于普通的本科教育,但又不能偏离本科生教学的基本要求,因此,教材编写必须围绕本科生所要掌握的基本知识与概念展开。但是,培养应用型与技术型人才又是应用型本科院校的教学宗旨,这就要求教材改革必须淡化学术研究成分,在章节的编排上先易后难,既要低起点,又要有坡度、上水平,更要进一步强化应用能力的培养。

为了满足当今社会对信息与电子技术类专业应用型人才的需要,许多应用型本科院校都设置了相关的专业。而这些专业的特点是课程内容较深、难点较多,学生不易掌握,同时,行业发展迅速,新的技术和应用层出不穷。针对这一情况,浙江大学出版社组织了十几所应用型本科院校信息与电子技术类专业的教师共同开展了“应用型本科信电专业教材建设”项目的研究,共同研究目前教材的不适应之处,并探讨如何编写能真正做到“因材施教”、适合应用型本科层次

信电类专业人才培养的系列教材。在此基础上,组建了编委会,确定共同编写“应用型本科院校信电专业基础平台课规划教材系列”。

本专业基础平台课规划教材具有以下特色:

在编写的指导思想,以“应用类本科”学生为主要授课对象,以培养应用型人才为基本目的,以“实用、适用、够用”为基本原则。“实用”是对本课程涉及的基本原理、基本性质、基本方法要讲全、讲透,概念准确清晰。“适用”是适用于授课对象,即应用型本科层次的学生。“够用”就是以就业为导向,以应用型人才为培养目的,达到理论够用,不追求理论深度和内容的广度。突出实用性、基础性、先进性,强调基本知识,结合实际应用,理论与实践相结合。

在教材的编写上重在基本概念、基本方法的表述。编写内容在保证教材结构体系完整的前提下,注重基本概念,追求过程简明、清晰和准确,重在原理,压缩繁琐的理论推导。做到重点突出、叙述简洁、易教易学。还注意掌握教材的体系和篇幅能符合各学院的计划要求。

在作者的遴选上强调作者应具有应用型本科教学的丰富的教学经验,有较高的学术水平并具有教材编写经验。为了既实现“因材施教”的目的,又保证教材的编写质量,我们组织了两支队伍,一支是了解应用型本科层次的教学特点、就业方向的一线教师队伍,由他们通过研讨决定教材的整体框架、内容选取与案例设计,并完成编写;另一支是由本专业的资深教授组成的专家队伍,负责教材的审稿和把关,以确保教材质量。

相信这套精心策划、认真组织、精心编写和出版的系列教材会得到广大院校的认可,对于应用型本科院校信息与电子技术类专业的教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会主任

顾伟康

2006年7月

前 言

为了满足当今社会对应用型人才的需求,许多高校都设置信息电子类、自动化类、计算机类、通信工程、测控技术与仪器等专业,但与应用型人才培养目标相适应的教材却很缺乏,大多仍在沿用以往适合于研究型人才培养的教材。为此,浙江大学出版社组织了浙江大学城市学院、宁波理工学院、浙江工业大学之江学院、浙江理工大学、杭州电子科技大学、宁波大学、中国计量学院、浙江科技学院、浙江万里学院、绍兴文理学院、广东茂名学院等院校具有丰富教学经验的教师专门为应用型本科学生编写了这套“应用型本科信电专业系列教材”,以达到“因材施教”的目的。

《数字电子技术》是这套规划教材之一,同时是浙江省高等教育重点建设教材。在这本教材的编写过程中,我们重点关注当前学科发展的现状、市场需求导向以及应用型本科学生的特点,以“精心组织、保证基础、精选内容、面向应用”为编写原则,努力编写出适合应用型本科学生使用的《数字电子技术》教材。

本教材在编写过程中,主要突出了以下三方面的特色:

1. 强调基础性。教材编写的出发点是面向应用型本科学生,所以强调基本知识的覆盖面,降低知识点的深度和难度,便于学生课后复习或者自学。

2. 强调系统性。教材强调“数字电子技术”知识的系统性,既包含传统“数字电路”教材中的组合和时序逻辑电路的分析和设计,也包含脉冲波形的产生和变换的方法,又增加了当前数字电路设计的先进方法和手段。

3. 强调实用性。“数字电路”设计现在已经越来越少地使用传统的“门电路”(小规模集成电路)来进行设计,也逐渐减少了用中规模集成模块电路进行设计,而是逐渐采用可编程逻辑器件,用 Verilog HDL 硬件描述语言(或者采用 VHDL 硬件描述语言)进行组合和时序逻辑电路的设计。本教材用两章的篇幅详细介绍了这部分实用性内容。

本书共分9章,第1章由浙江科技学院瞿晓编写,第2章和第3章由浙江大学宁波理工学院范勤儒编写,第4章由浙江大学城市学院朱红丽编写,第5章由浙江大学城市学院黄瑞祥编写,第6章和第7章由浙江大学信息科学与工程学院屈民军编写,第8章由浙江工业大学之江学院王荃编写,第9章由浙江理工大学包晓敏编写。全书由黄瑞祥担任主编,负责全书的统稿工作。

浙江大学信电系何小艇教授反复认真审阅了全书,提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中得到了浙江很多高校和浙江大学出版社的大力支持,在此表示感谢,同时对本书参考文献的作者表示感谢。

由于编写时间仓促,编者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请广大读者予以批评指正。

编 者

2007年8月

目 录

第 1 章 逻辑代数基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字信号和数字化	1
1.1.2 二进制数和编码	2
1.2 逻辑代数的运算规则	7
1.2.1 三种基本运算	8
1.2.2 基本公式和常用公式	9
1.2.3 基本规则	11
1.3 逻辑函数及其表示方法	12
1.3.1 逻辑函数	12
1.3.2 逻辑函数的几种表示方法	13
1.3.3 几种表示方法之间的转换	15
1.3.4 逻辑函数的两种标准形式	16
1.4 逻辑函数的公式化简法	20
1.4.1 逻辑函数的最简形式	20
1.4.2 逻辑函数的公式化简法	20
1.5 逻辑函数的卡诺图化简法	22
1.5.1 卡诺图的结构	22
1.5.2 逻辑函数的卡诺图	24
1.5.3 用卡诺图化简逻辑函数	25
1.6 具有约束的逻辑函数及其化简	27
1.6.1 约束和约束条件	27
1.6.2 具有约束项的逻辑函数的化简	28
本章小结	29
习 题	29
第 2 章 门电路	34
2.1 概述	34

2.1.1	什么是门电路?	34
2.1.2	高电平、低电平与正、负逻辑	34
2.1.3	数字集成电路的集成度及分类	34
2.2	半导体二极管、三极管和 MOS 管的开关特性	35
2.2.1	理想开关的开关特性	35
2.2.2	半导体二极管的开关特性	35
2.2.3	二极管开关等效电路	37
2.2.4	半导体三极管的开关特性	38
2.2.5	MOS 管的开关特性	40
2.3	CMOS 门电路	43
2.3.1	CMOS 反相器	43
2.3.2	CMOS 与非门、或非门、与门和或门	47
2.3.3	CMOS 与或非门	50
2.3.4	CMOS 传输门、三态门和漏极开路门	51
2.3.5	CMOS 电路产品简介及使用中应注意的问题	53
2.4	TTL 集成门电路	54
2.4.1	TTL 反相器	54
2.4.2	TTL 与非门、或非门、与门、或门、与或非门和异或门	59
2.4.3	TTL 集电极开路门和三态门	62
2.4.4	TTL 集成电路	66
2.5	TTL 电路与 CMOS 电路的接口	66
2.5.1	用 TTL 电路驱动 CMOS 电路	67
2.5.2	用 CMOS 电路驱动 TTL 电路	68
	本章小结	69
	习 题	69
第 3 章	组合逻辑电路	76
3.1	概述	76
3.1.1	组合逻辑电路概念	76
3.1.2	组合逻辑电路的方框图及特点	76
3.1.3	组合逻辑电路逻辑功能表示方法	76
3.1.4	组合逻辑电路分类	77
3.2	组合逻辑电路的分析方法	77
3.3	组合逻辑电路的设计方法	78
3.4	常用中规模标准组合模块电路	80
3.4.1	中规模标准组合模块电路概念	80
3.4.2	加法器	80
3.4.3	乘法器	84
3.4.4	数值比较器	85

3.4.5 编码器	89
3.4.6 译码器	93
3.4.7 数据选择器	100
3.4.8 数据分配器	102
3.5 用中规模集成电路实现组合逻辑函数	104
3.5.1 用集成数据选择器实现组合逻辑函数	104
3.5.2 用译码器实现组合逻辑函数	105
3.5.3 用加法器实现组合逻辑函数	106
3.6 组合电路中的竞争冒险	108
3.6.1 组合电路中的竞争冒险现象	108
3.6.2 组合电路中的竞争冒险判别方法	109
3.6.3 组合电路中的竞争冒险消除方法	109
本章小结	110
习 题	111
第 4 章 集成触发器	115
4.1 RS 触发器及锁存器	115
4.1.1 基本 RS 触发器	115
4.1.2 锁存器	120
4.1.3 时钟控制 RS 触发器	120
4.2 JK 触发器	122
4.2.1 主从 JK 触发器	123
4.2.2 边沿 JK 触发器	126
4.3 D 触发器和 T 触发器	127
4.3.1 D 触发器	127
4.3.2 T 触发器	128
4.3.3 触发器之间的转换	129
4.3.4 触发器的实用电路	131
4.4 触发器的应用	132
4.4.1 寄存器	132
4.4.2 异步计数器	136
4.4.3 触发器的动态特性	139
本章小结	140
习 题	141
第 5 章 时序逻辑电路	146
5.1 同步时序电路分析	146
5.1.1 时序电路的结构和分类	146
5.1.2 时序电路的基本分析方法	147

5.1.3	时序电路的分析举例	148
5.2	同步时序电路的设计	152
5.2.1	同步时序电路设计的一般步骤	153
5.2.2	同步时序电路设计举例	154
5.3	中规模标准时序模块电路	159
5.3.1	寄存器和移位寄存器	159
5.3.2	同步计数器	165
5.3.3	异步计数器	172
5.4	用中规模标准模块电路构成时序电路	175
5.4.1	任意进制计数器	175
5.4.2	移位寄存器型计数器	183
5.4.3	序列信号发生器和检测器	187
5.4.4	控制器	190
	本章小结	192
	习 题	193
第 6 章	可编程逻辑器件	202
6.1	概述	202
6.2	可编程只读存储器	203
6.2.1	只读存储器 (ROM)	203
6.2.2	可编程只读存储器	204
6.2.3	用 ROM 实现组合逻辑电路	206
6.3	低密度的可编程逻辑器件 (SPLD)	207
6.3.1	可编程逻辑阵列 (PLA)	207
6.3.2	可编程阵列逻辑 (PAL)	208
6.3.3	通用阵列逻辑 (GAL)	209
6.4	高密度的可编程逻辑器件 (HDPLD)	211
6.4.1	CPLD	212
6.4.2	现场可编程门阵列 FPGA	215
6.5	随机存取存储器 (RAM)	223
	本章小结	226
	习 题	226
第 7 章	Verilog HDL 硬件描述语言	228
7.1	概述	228
7.2	Verilog HDL 的程序结构	229
7.2.1	模块的概念和结构	229
7.2.2	模块的描述方法	230
7.3	词法	232

7.3.1 间隔符与注释符	232
7.3.2 数值	232
7.3.3 字符串	233
7.3.4 标识符和关键字	234
7.4 数据类型及常量、变量	234
7.4.1 参数常量	234
7.4.2 变量	235
7.5 运算符和表达式	237
7.5.1 运算符	237
7.5.2 运算符优先级排序	240
7.6 编译预处理指令	240
7.7 数据流描述风格:assign 语句	241
7.8 行为描述风格及主要描述语句	242
7.8.1 过程结构	242
7.8.2 过程赋值语句	244
7.8.3 条件分支语句	245
7.8.4 循环控制语句	248
7.8.5 任务(task)与函数(function)	250
7.9 结构描述风格	252
7.9.1 内置基本门级元件	252
7.9.2 门级建模的例子	253
7.10 设计举例和设计技巧	254
7.10.1 常用组合电路的设计	254
7.10.2 常用时序电路的设计	258
7.10.3 综合实例	261
7.11 MAX+PLUS II 软件不支持的数据类型和语句	267
本章小结	268
习 题	268
第 8 章 脉冲的产生和整形电路	270
8.1 概述	270
8.1.1 脉冲信号及特性参数	270
8.1.2 555 定时器	271
8.2 多谐振荡器	273
8.2.1 555 定时器构成的多谐振荡器	273
8.2.2 石英晶体多谐振荡器	276
8.2.3 环形振荡器	278
8.2.4 多谐振荡器的应用	279
8.3 施密特触发器	280

8.3.1	555 定时器构成的施密特触发器	280
8.3.2	集成施密特触发器	282
8.3.3	施密特触发器的应用	284
8.4	单稳态触发器	286
8.4.1	555 定时器构成的单稳态触发器	286
8.4.2	集成单稳态触发器	288
8.4.3	单稳态触发器的应用	292
本章小结		294
习 题		294
第 9 章 数模(D/A)和模数(A/D)转换电路		298
9.1	概述	298
9.2	D/A 转换器(DAC)	299
9.2.1	D/A 转换器的工作原理	299
9.2.2	D/A 转换器的转换精度、速度和主要参数	302
9.2.3	集成 DAC 电路	303
9.3	A/D 转换器(ADC)	304
9.3.1	模数转换基本原理	304
9.3.2	并联比较型 ADC	306
9.3.3	逐次渐近型 ADC	309
9.3.4	双积分型 ADC	311
9.3.5	ADC 的转换精度和转换速度	313
9.3.6	集成 ADC	314
9.3.7	ADC 与 DAC 的选用	315
本章小结		318
习 题		319
附 录		321
附录一 常用逻辑符号对照表		321
附录二 数字集成电路的型号命名法		322
附录三 常用标准集成电路器件索引		323
参考文献		326

第 1 章 逻辑代数基础

1.1 概 述

1.1.1 数字信号和数字化

在电子技术中,被传递、加工和处理的信号可以分为两大类。一类信号是模拟信号,这类信号的特征是:无论从时间上或从信号的大小上看其变化都是连续的;另一类信号是数字信号,这类信号的特征是:无论从时间上还是从大小上看其变化都是不连续的,或者说是离散的。用以传递、加工和处理模拟信号的电路叫模拟电路;传递、加工和处理数字信号的电路叫数字电路。

例如,当我们用一个电子电路记录从自动生产线上输出的零件数目时,每送出一个零件应给电子电路一个信号,使之记 1,而平时没有零件送出时加给电子电路的信号是 0,所以不计数。可见,零件数目这个信号的变化在时间上和数量上都不连续,所以它是一个数字信号。

与模拟电路相比,数字电路具有以下一些特点:

(1)在数字电路中一般都采用二进制,因此,凡具有两个稳定状态的元件,其状态都可用来表示二进制数码,故其基本单元电路简单,对电路中各元件参数的精度要求不高,允许有较大的分散性,只要能正确区分两种截然不同的状态即可。这一特点对实现数字电路集成化是十分有利的。

(2)抗干扰能力强、精度高。由于数字电路传递、加工和处理的是二值信息,不易受外界的干扰,因而抗干扰能力强。另外,可以通过增加二进制数的位数来提高电路的精度。

(3)数字信号便于长期存储,使大量重要的信息资源得以妥善保存,使用方便。

(4)保密性好。在数字电路中进行加密处理,使一些重要的信息资源不易被窃取。

(5)通用性强。可以采用标准的逻辑器件和可编程逻辑器件来构成各种各样的数字系统,设计方便,使用灵活。

随着工业自动化程度的提高,由于数字电路具有上述特点,其发展十分迅速,因而在电子计算机、数控技术、通信技术、数字仪表以及国民经济其他各部门都得到了越来越广泛的应用。

在实现工业自动化过程中,需要测量和控制的信号大部分都是模拟信号,为了用数字电路处理这些模拟信号,必须首先把它们转换为数字信号(称为模—数转换),才可送给数字电

路进行处理。这一过程我们称之为模拟量的数字化。同时,还需将计算、分析得到的数字结果,再转换成相对应的模拟信号(称为数—模转换),送给控制对象。这一过程我们称之为数字量的模拟化。

1.1.2 二进制数和编码

用数字量表示物理量的大小时,仅用一位数码往往不够用,因而必须用进位计数的方法组成多位数码。我们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位进位的规则称为数制。在数字电路中,主要采用二进制。

1. 二进制数表示法

二进制数是数字电路中应用最广泛的一种数值表示方法,为了更容易地理解有关概念,我们先简单分析一下人们十分熟悉的十进制数表示法。

(1) 十进制数

十进制是人们日常生活中最常使用的进位计数制。在十进制数中,每一位有0~9共十个数码,所以计数的基数是10。超过9的数必须用多位表示,其中低位数和相邻高位数之间的关系是“逢十进一”,故称之为十进制。例如

$$125.68 = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 5 \times 10^0 + 6 \times 10^{-1} + 8 \times 10^{-2}$$

显然,任意一个十进制数 D 可以表示为

$$\begin{aligned} (D)_{10} &= k_{n-1} \times 10^{n-1} + k_{n-2} \times 10^{n-2} + k_{n-3} \times 10^{n-3} + \cdots + k_1 \times 10^1 + \\ &\quad k_0 \times 10^0 + k_{-1} \times 10^{-1} + k_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + k_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 10^i \end{aligned} \quad (1-1-1)$$

式中: n, m 为正整数, k_i 为系数,是十进制数十个数字符号中的一个,10 是进位基数, 10^i 是十进制数的位权($i = n-1, n-2, \dots, 1, 0, -1, -2, \dots, -m$),表示系数 k_i 在十进制数中的地位。

若以 N 代替式(1-1-1)中的10,则任意进制(N 进制)数可表示为

$$(D)_N = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times N^i \quad (1-1-2)$$

其中 i 的取值与式(1-1-1)中的规定相同。

(2) 二进制数

在数字电路中应用最广泛的是二进制计数制,简称二进制,它只有两个数字符号0和1,计数基数 $N = 2$,其计数规律为“逢二进一”。

根据式(1-1-2)可知,任何一个二进制数均可展开为

$$(D)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 2^i \quad (1-1-3)$$

式中: k_i 的取值只有0或1。

例如

$$\begin{aligned} (101.11)_2 &= 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= (5.75)_{10} \end{aligned}$$

(3) 十六进制

由于多位二进制数不便识别和记忆,因此常用十六进制数来表示多位二进制数。十六进制的每一位数都有十六种可能出现的数字,分别用 $0 \sim 9, A(10), B(11), C(12), D(13), E(14), F(15)$ 来表示。计数基数 $N = 16$,其计数规律为“逢十六进一”。

根据式(1-1-2)可知,任何一个十六进制数均可展开为

$$(D)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 16^i \quad (1-1-4)$$

式中: k_i 的取值可以是 $0 \sim F$ 中的任何一个。

例如

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

由于目前在微型计算机中大多采用16位二进制数并行运算,而16位二进制数可以用4位十六进制数来表示,转换非常简单,书写程序十分方便,所以十六进制的应用非常广泛。

上述式子中采用下脚注2,10,16分别表示这个数是二进制数、十进制数和十六进制数。有时也在数码后边附加英文字母B,D,H分别表示这个数是二进制数、十进制数和十六进制数。

(4) 几种常用进制数之间的转换

1) 二—十转换

把二进制数转换成等值的十进制数称为二—十转换。在进行转换时,只要将二进制数按式(1-1-3)展开,然后把所有各项的数值按十进制数相加,就可以得到等值的十进制数了。

例如

$$\begin{aligned} (1101.11)_2 &= 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 8 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0.25 \\ &= (13.75)_{10} \end{aligned}$$

2) 十—二转换

把十进制数转换成等值的二进制数称为十—二转换。转换时其整数部分和小数部分应分别进行。

① 整数的转换

设十进制整数为 $(D)_{10}$,它所对应的二进制数为 $(k_{n-1} \cdots k_1 k_0)_2$,由式(1-1-3)可知

$$\begin{aligned} (D)_{10} &= \sum_{i=-m}^{n-1} k_i \times 2^i \\ &= k_{n-1} 2^{n-1} + \cdots + k_1 2^1 + k_0 2^0 \\ &= 2(k_{n-1} 2^{n-2} + \cdots + k_1) + k_0 \end{aligned}$$

因此,若将上式两边同除以2,那么两边所得的商和余数必将对应相等,所得的商为 $k_{n-1} 2^{n-2} + \cdots + k_1$,余数为 k_0 。

同理,这个商又可以写成

$$\frac{(D)_{10} - k_0}{2} = 2(k_{n-1} 2^{n-3} + \cdots + k_2) + k_1$$

显然,如再将上式两边再同除以2,所得余数为 k_1 。依此类推,便可求出对应的二进制数的每一位系数。