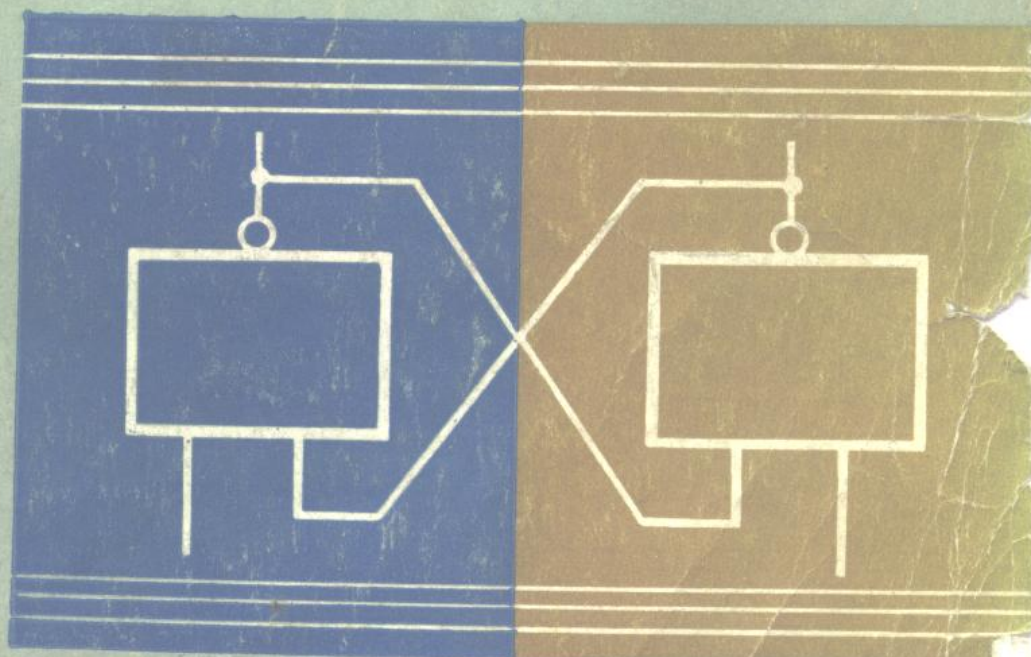


高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

数字电子技术基础

张维廉 主编



高等教育出版社

高等学校函授教材

(兼作高等教育自学用书)

数字电子技术基础

张维廉 主编

高等教育出版社

1985 年

内 容 简 介

本教材是参照高等工业学校《电子技术基础函授教学大纲》编写的。分为《模拟电子技术基础》和《数字电子技术基础》两书出版。《数字电子技术基础》的内容有：数字电路基本知识、逻辑门电路、逻辑代数、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、MOS 集成电路、脉冲波形的产生和整形、数-模及模-数转换器、数字电路应用例等十章。书中每章开始附有学习要求，节后有小结、复习思考题和习题。每章有测验题。

本书可作为自动化和其它相近专业的《数字电子技术基础》课程函授教材，是自学数字电子技术基础必不可少的参考书，亦可作为工科院校自动化专业学生学习《数字电子技术基础》的参考书，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

2P3B/31

高等学校函授教材
(兼作高等教育自学用书)

数字电子技术基础

张维廉 主编

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
河北省香河县印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 21.25 字数 487,000

1985年10月第1版 1985年10月第1次印刷

印数 00,001—9,700

书号 15010·0681 定价 3.70 元

序 言

本书是电子技术基础的数字部分,是根据教育部高等工业学校函授教学工作会议制定的函授教材规划,以《电子技术基础函授教学大纲》数字部分为依据,结合函授教学经验及电子技术发展的需要而编写的。

全书共有十章,在内容安排上,每章开始讲解较为详细,力求做到由浅入深便于自学,也力求突出基本概念、基本方法和基本原理,培养分析问题和解决问题的能力,同时还列举了实际应用的例子,以利于用所学的理论解决工程问题。此外还适当安排了中大规模集成电路的内容,以及如何应用中大规模集成电路芯片进行逻辑设计,以便适应电子技术飞速发展的需要。

参加本书编写工作的有张维廉(第一、二章)、王魁臣(第三、十章)、丛玉珍(第五、六章)、伍杰(第八章)、杨文福(第七、十章)、李新荃(第四、九章)等,张维廉副教授担任主编。

本书承蒙华中工学院电子学教研室江庚和副教授主审,肖锡湘、朱如琪二位同志进行审阅,对原稿指出许多欠妥之处并写出了修改意见。东北电力学院李本藩副教授、北京钢铁学院李富松、中南矿冶学院林卫中等同志在审稿会上对初稿进行认真的审阅,并提出了许多宝贵意见,在此我们表示衷心感谢。

由于水平有限,时间仓促,对于如何处理好当今世界上集成电路的飞速发展与教学大纲之间的矛盾缺少经验,本书必然存在不少缺点和错误,殷切希望读者予以批评指正。

编者

1984年11月

本课程特点及学习方法

随着科学技术的发展,数字电子技术的应用越来越广泛。数字电子技术课程内容不断丰富,目前已形成为一门重要的技术基础课。

数字电路是工作在数字信号下的电子电路,数字信号是指那些在时间和幅度上都是离散的信号。

数字电子技术研究的主要问题是数字电路的输出与输入之间的逻辑关系。它有两种基本运算:一种是逻辑运算,另一种是算术运算。逻辑运算是进行逻辑推演和逻辑判断。即具有逻辑思维能力在逻辑运算中的0和1表示状态,而在算术运算中0和1则表示数值。

由于数字电子技术和模拟电子技术研究的问题不同,所以采用了一套与研究模拟电路不同的方法。研究数字电路的有力工具是逻辑代数、真值表、卡诺图、特性方程和状态转换图等。从给定的逻辑电路,求出其逻辑功能的过程称为分析。由已知的逻辑功能求出实现这一逻辑的电路的过程称为设计。

如何学习《数字电子技术基础》这门课程?我们从数字电路的特殊规律出发,结合函授教学的特点,提出以下几点建议:

1. 数字电子技术研究的主要问题是逻辑关系,为此,必须熟记各种门电路和触发器的功能及其表示法。这是学好本门课程的前提。
2. 熟悉典型的常用的逻辑单元电路是学好本课的重要一环。常用的单元电路如全加器、译码器、数据选择器、寄存器、计数器等,它们具有一定的逻辑功能,并且已经做在一块芯片上。应用这些单元电路芯片,使数字电路简单可靠。
3. 逻辑代数、真值表、卡诺图、特性方程、状态转换图等是研究数字电路的重要工具,为了能够顺利地研究数字电路,熟练地运用这些工具是非常必要的。
4. 数字电路的种类繁多,只要学会了数字电路的分析方法和设计方法,就可以去分析它们和设计它们。
5. 为实现逻辑命题的要求,除熟悉所用器件的逻辑功能之外,还必须了解它们的性能。只有正确地选用器件,才可能实现其逻辑功能。
6. 数字电子技术是一门实践性很强的技术基础课,只有亲自动手,做一定数量的实验,才能够达到教学要求。

函授教学主要是自学和面授两个环节。由于面授学时有限,故只能讲解重点和难点,以及分析问题和解决问题的方法。这就要求面授之前,必须按要求做好自学,特别是需熟记的一定要记住,否则影响面授效果。另外,做好足够数量的习题是学好本课程的基本要求,这一环节切不可忽视。

本课程总学时数(包括自学、面授在内)为200, 其中第一章为15学时, 第二章 30 学时, 第三章 20学时, 第四章25学时, 第五章 25 学时, 第六章 30 学时, 第七章 20 学时, 第八章 15 学时, 第九章 20学时, 第十章为选学内容。以上学时安排供自学时参考。

本课程的实验应根据实验指导书, 结合各函授站的情况适当安排。我们的意见是: 对逻辑部件性能的测试、组合逻辑电路、时序电路的实验最好都能安排完成, 有条件的地方还可对脉冲形成电路、模数转换电路和存贮器进行实验。

目 录

第一章 数字电路基本知识

1-1 计数体制	1	1-2-2 二极管的开关时间	11
1-1-1 十进制数	1	1-2-3 减小 t_{rs} 的措施	13
1-1-2 二进制数	2	小结	14
1-1-3 八进制数和十六进制数	4	复习思考题	14
1-1-4 数制转换	5	1-3 晶体三极管的开关特性	15
1-1-5 二十进制码(简称 BCD 码)	8	1-3-1 晶体管三种工作状态的特点	15
小结	9	1-3-2 晶体管的开关时间	18
复习思考题	10	小结	21
习题	10	复习思考题	21
1-2 半导体二极管的开关特性	10	习题	21
1-2-1 二极管的开关作用	10	测验题	22

第二章 逻辑门电路

2-1 基本逻辑门	24	2-2-4 TTL 与非门的动态特性	48
2-1-1 关于逻辑电路的几个问题	24	2-2-5 TTL 与非门静态参数及其测试	50
2-1-2 与门电路	25	2-2-6 TTL 与非门的改进型电路介绍	53
2-1-3 或门电路	28	2-2-7 TTL 的其他类型门电路	56
2-1-4 非门电路	30	2-2-8 混合逻辑及负逻辑的逻辑符号	66
2-1-5 分立元件与非门电路	33	小结	69
小结	37	复习思考题	69
复习思考题	37	习题	70
习题	37	2-3 双极型其他类型的门电路	71
2-2 晶体管-晶体管集成逻辑电路	39	2-3-1 高阈值逻辑门电路(HTL)	71
2-2-1 TTL 与非门的典型电路		2-3-2 集成注入逻辑门电路(IIL)	73
及其工作原理	39	2-3-3 发射极耦合逻辑电路(ECL)	76
2-2-2 TTL 与非门的电压传输特性		小结	79
及抗干扰能力	42	复习思考题	79
2-2-3 TTL 与非门的输入特性		习题	79
和输出特性	46	测验题	80

第三章 逻辑代数的基础知识

3-1 逻辑函数的表示方法	83	复习思考题	86
小结	85	习题	86

3-2 逻辑代数的基本公式和常用公式.....86	3-3-2 卡诺图化简法.....94
3-2-1 基本公式.....87	3-3-3 具有无关项的逻辑函数化简.....105
3-2-2 关于等式的若干规则.....89	3-3-4 不同形式的逻辑函数表达式间的 转换.....106
3-2-3 若干常用公式.....90	小结.....107
小结.....91	复习思考题.....107
复习思考题.....91	习题.....108
习题.....91	测验题.....109
3-3 逻辑函数的化简.....92	
3-3-1 代数化简法.....93	

第四章 组合逻辑电路

4-1 组合逻辑电路的分析方法.....111	4-4-1 全加器.....126
小结.....114	4-4-2 编码器.....128
复习思考题.....115	4-4-3 译码器.....132
习题.....115	4-4-4 数码显示器.....136
4-2 组合逻辑电路的设计方法.....116	4-4-5 奇偶校验电路.....139
小结.....119	4-4-6 数据分配器和数据选择器.....142
复习思考题.....120	小结.....144
习题.....120	复习思考题.....145
4-3 组合逻辑电路的竞争冒险.....121	习题.....145
4-3-1 竞争与冒险.....121	4-5 应用一些中规模集成电路芯片进行 组合逻辑设计.....146
4-3-2 冒险现象的判别.....123	小结.....152
4-3-3 消除冒险现象的方法.....124	复习思考题.....153
小结.....125	习题.....153
复习思考题.....126	测验题.....153
习题.....126	
4-4 常用组合逻辑单元电路.....126	

第五章 触发器

5-1 基本触发器.....154	复习思考题.....171
5-1-1 基本 RS 触发器.....154	习题.....171
5-1-2 同步 RS 触发器.....158	5-3 维持阻塞触发器和边沿触发器.....172
小结.....161	5-3-1 维持阻塞触发器.....172
复习思考题.....161	5-3-2 边沿触发器.....176
习题.....161	小结.....177
5-2 主从触发器.....162	复习思考题.....177
5-2-1 计数型主从触发器.....162	习题.....178
5-2-2 不同逻辑功能的主从触发器.....163	5-4 触发器逻辑功能的转换.....179
小结.....170	小结.....180

复习思考题.....	180	测验题.....	180
习题.....	180		

第六章 时序逻辑电路

6-1 时序逻辑电路分析.....	183	6-3-2 同步十进制计数器.....	201
6-1-1 同步时序电路分析举例.....	183	6-3-3 异步二进制计数器.....	202
6-1-2 异步时序电路分析举例.....	186	6-3-4 异步十进制计数器.....	203
小结.....	187	6-3-5 用中规模集成电路构成任意进制 计数器.....	205
复习思考题.....	187	小结.....	207
习题.....	188	复习思考题.....	207
6-2 寄存器.....	189	习题.....	207
6-2-1 数码寄存器.....	189	6-4 同步时序电路的设计方法.....	207
6-2-2 移位寄存器.....	190	小结.....	211
小结.....	196	复习思考题.....	212
复习思考题.....	197	习题.....	212
习题.....	197	测验题.....	212
6-3 计数器.....	197		
6-3-1 同步二进制计数器.....	197		

第七章 金属-氧化物-半导体(MOS)场效应管数字集成电路

7-1 MOS 反相器.....	214	习题.....	236
7-1-1 MOS 管的开关特性.....	214	7-4 半导体存储器.....	238
7-1-2 NMOS 反相器.....	215	7-4-1 随机存取存储器(RAM).....	238
小结.....	220	7-4-2 只读存储器(ROM).....	242
复习思考题.....	221	7-4-3 可编程逻辑阵列(PLA).....	244
习题.....	221	小结.....	245
7-2 CMOS 反相器和传输门.....	222	复习思考题.....	245
7-2-1 CMOS 反相器.....	222	习题.....	245
7-2-2 传输门.....	224	7-5 用中大规模集成电路(ROM 和 PLA) 进行逻辑设计.....	245
小结.....	226	7-5-1 用 ROM 和 PLA 进行逻辑设计的 步骤.....	245
复习思考题.....	226	7-5-2 设计原理.....	246
习题.....	226	7-5-3 设计举例.....	246
7-3 MOS 逻辑门电路及触发器.....	227	小结.....	251
7-3-1 静态 MOS 门电路.....	227	复习思考题.....	251
7-3-2 动态 MOS 逻辑门电路.....	230	习题.....	251
7-3-3 MOS 触发器.....	233	测验题.....	252
小结.....	236		
复习思考题.....	236		

第八章 脉冲波形的产生和整形

8-1 单稳态触发器	253	8-3-1 带电平偏移二极管的施密特触 发器	272
8-1-1 TTL 与非门组成的微分型单稳 电路	254	8-3-2 回差电压可调的施密特触发器	273
8-1-2 TTL 与非门组成的积分型单稳 电路	259	8-3-3 集成施密特触发器	273
8-1-3 集成单稳态触发器	262	8-3-4 施密特触发器的应用	274
8-1-4 单稳态触发器的应用	263	小结	276
小结	264	复习思考题	276
复习思考题	265	习题	276
习题	265	8-4 555 IC 定时器的应用	276
8-2 多谐振荡器	266	8-4-1 555 IC 定时器	276
8-2-1 RC 积分型环形振荡器	266	8-4-2 用 555 定时器组成单稳态触发器	277
8-2-2 石英晶体多谐振荡器	270	8-4-3 555 定时器组成的多谐振荡器	279
小结	270	小结	280
复习思考题	271	复习思考题	281
习题	271	习题	281
8-3 施密特触发器	271	测验题	281

第九章 数-模及模-数转换器

9-1 数字-模拟转换器	282	9-2-1 概述	291
9-1-1 概述	282	9-2-2 逐次逼近型 ADC	294
9-1-2 二进制权电阻 DAC	283	9-2-3 双积分型 ADC	295
9-1-3 倒 T 型权电流 DAC	284	9-2-4 ADC 的主要指标	297
9-1-4 DAC 的主要技术指标	285	9-2-5 集成 ADC 举例	298
9-1-5 集成 DAC 举例	287	小结	299
小结	289	复习思考题	300
复习思考题	290	习题	300
习题	290	测验题	301
9-2 模拟-数字转换器	291		

第十章 数字电路的应用例

10-1 模型机	302	10-2-1 工作原理	310
10-1-1 模型机的组成	302	10-2-2 电路结构的实现	313
10-1-2 模型机的工作原理	308	10-2-3 工作过程简介	321
10-2 简易数字频率计	310		

参考文献	323
------	-----

部分习题参考答案	325
----------	-----

附录 I: 常用的二-十进制编码及循环码	327
----------------------	-----

附录 II: 部分半导体集成电路产品国内外型号对照表	329
----------------------------	-----

第一章 数字电路基本知识

内容简介

本章介绍了三方面内容：计数体制；二极管开关特性；双极型晶体管的开关特性。这些内容是学习其他一些章节的基础知识。计数体制这部分内容，在数字电路中经常碰到，熟练地掌握它有益于学习其他内容。学会二极管开关特性有利于理解双极型晶体管的开关特性。了解晶体管的开关特性对理解各种门电路的工作原理和门电路的特点将会有很大的帮助。在电子技术的书中，开关特性通常只作一般的介绍，要想深入理解它还必须阅读其他有关书籍。

通过本章学习应达到下列要求：

- 1) 熟练地用 0 和 1 这两个二进制码来表示任意二进制数。
- 2) 熟练地把一个十进制数转换成二进制数，把一个二进制数转换成十进制数。
- 3) 熟悉十六进制和二十进制的计数体制。
- 4) 深刻理解二极管为什么能作为一个开关元件。
- 5) 知道影响二极管开关时间的主要因素是什么。
- 6) 了解减少二极管反向恢复时间的措施。
- 7) 了解存储电荷对晶体管开关过程的影响。
- 8) 掌握确定晶体管三种工作状态的方法。
- 9) 掌握晶体管的开关条件。

1-1 计数体制

在数字系统中经常遇到的是数字。一提到数字就会自然的想到 0、1、2、…、9 这十个数码，这是日常生活中常用到的十进制数。但在实际应用中还有二进制数、八进制数、十六进制数等。本节介绍的是：

- 1) 任何一个十进制数如何用只有 0 和 1 的二进制码来表示。
- 2) 八进制数和十六进制数的表示法。
- 3) 二进制数与十进制数的相互转换，二进制数与十六进制数的相互转换。
- 4) 二十进制码的简单介绍。

计数体制的其他方面内容将在后继课程中介绍。

1-1-1 十进制数

十进制计数体制中，任何一个数都是用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 这十个数字符号按一定规律

• 1 •

排列而成的。它用的是位置计数法,或称并列表示法。其他计数体制也是用这种办法,所以先总结一下十进制计数体制的一些规律,然后把它用到其他进制中。

一个十进制数,如5649,可以用下面式子解释它的数值: $5 \times 1000 + 6 \times 100 + 4 \times 10 + 9 \times 1$ 。乘数1000、100、10、1是根据该数字所处的位置而取得的,因此把这种表示方法叫做位置计数法。而数1000、100、10、1等叫做权。从表1-1看出,这些权都是10的乘方,个位是十的零次方,十位是十的1次方,百位是十的2次方……等。左边数的权是右边数的权的十倍。这里的10称为十进制数的基数。因此,所谓十进制,就是以十为基数的计数体制,它的计数规律是“逢十进一”。

表 1-1 十进制数各位的权

十进制的权		1000	100	10	1	0.1	0.01	0.001	
10的幂		10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	

上式中的5、6、4、9那些数称为系数。权乘以系数称为加权系数,如 $5 \times 10^3 = 5000$ 。一个十进制数的数值就是以10为基数的加权系数之和。如

$$5649 = 5 \times 1000 + 6 \times 100 + 4 \times 10 + 9 \times 1$$

加权系数之和即为该数的十进制数的值。

因此对于十进制数的任意一个 n 位的正整数都可以用如下的式子表式:

$$M_{10} = a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \dots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \quad (1-1)$$

这个式子也称按权展开式,其中 $a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, a_0$ 为 0、1、2、 $\dots$ 、9 中的某一个数码。10 称为上式的基数。可以将式(1-1)写成

$$M_{10} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 10^i \quad (1-2)$$

a_i 为第 i 位的系数,它为 0、1、2、 $\dots$ 、9 中的某一个数。 M 的下标为 10,表示 M 是一个十进制数。如果 M 是 R 进制数,则写成 M_R 。

如果是 R 为基数的 n 位数,则其按权展开式的一般写法是

$$M_R = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times R^i \quad (1-3)$$

其中 a_i 为 0、1、2、 $\dots$ 、 $(R-1)$ 中的一个数。其加权系数之和即为该数的十进制数的值。实际上,在数字系统中常采用二进制数,下面着重讨论二进制计数体制。

1-1-2 二进制数

1. 二进制数的表示法

在人们应用的许多器件中,常常只有两个状态:如继电器触点的开、关;晶体管的饱和与截止;某些器件输出电压的低、高;磁心的两种不同剩磁状态等。这两种状态容易被人们所区分,并常用 0 和 1 表示。所以在数字系统中采用二进制是比较方便的。

二进制数和十进制数一样也是用位置计数法, 任何一个 n 位的二进制正整数可用下式表示

$$M_2 = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 2^i \quad (1-4)$$

即
$$M_2 = a_{n-1} \times 2^{n-1} + a_{n-2} \times 2^{n-2} + \dots + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0$$

式中的系数 $a_{n-1}, a_{n-2}, \dots, a_1, a_0$ 或者是 1, 或者是 0, 二者必居其一。

总之, 二进制计数体制也是用的位置计数法, 每一位的权都是 2 的幂数, 而它的系数或者是 1 或者是 0, 它的基数为 2。二进制的计数规律是“逢二进一”。

[例 1-1] 一个二进制数 $M_2 = 1011_2$, 它的十进制的等价值是多少?

解: 这个数是一个四位二进制数, 即 $n=4$, 其最高有效位(用 MSB 表示)就是数的最左边的那位, 它的权为 $2^{4-1}=2^3$; 其次位的权为 2^2 , 再次一位的权为 2^1 , 最右边那位(通常称为最低有效位, 用 LSB 表示)的权是 2^0 , 这样加权系数之和为

$$\begin{aligned} M_2 = 1011_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 = 11_{10} \end{aligned}$$

任何一个二进制数, 可用加权系数之和来求得它的等价的十进制数。同理, 任意进制数可按式(1-3)用其加权系数之和来求得它的等价的十进制数。

2. 二进制数的加法和乘法运算

二进制数的算术运算的基本规律和十进制数的运算基本上一致。最常用的是加法运算和乘法运算, 我们在下面只做简单介绍, 以便大家了解其基本规律, 为学习其他章节打下基础。

(1) 二进制加法

它有四种情况

$$0+0=0$$

$$0+1=1$$

$$1+0=1$$

$$1+1=0, \text{进位为 } 1$$

[例 1-2] 求 $1010_2 + 1011_2$ 的和

解:

$$\begin{array}{r} 1010_2 \\ + 1011_2 \\ \hline 10101_2 \end{array}$$

校验: $1010_2 + 1011_2 = 10_{10} + 11_{10} = 21_{10}$

$$10101_2 = 21_{10}$$

(2) 二进制乘法

它也有四种情况

$$0 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

[例 1-3] 求 $10101_2 \times 110_2$ 之积

解：二进制乘法的步骤与十进制乘法类似，首先被乘数与乘数最低有效位相乘，然后再与次低位相乘并把这次所得的积向左移一位，这个过程一直继续到乘数的所有位都乘过。然后相加，就是所求的积。

$$\begin{array}{r}
 10101_2 \\
 \times 110_2 \\
 \hline
 00000 \\
 10101 \\
 10101 \\
 \hline
 1111110_2
 \end{array}$$

校验： $10101_2 \times 110_2 = 21_{10} \times 6_{10} = 126_{10}$

$1111110_2 = 126_{10}$

1-1-3 八进制数和十六进制数

由于实现二进制数所用的器件很容易获得，加上二进制的算术运算比较简单，所以在数字系统中广泛采用二进制。但二进制也有其缺点，就是与十进制比较，人们使用不太方便；与等值的十进制数相比，它所需要的位数多（如表 1-2 中的十进制数 100 是 3 位，而与之等价的二进制数

表 1-2 常用计数制数的表示方法

十 进 制	二 进 制	八 进 制	十 六 进 制
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11
18	10010	22	12
19	10011	23	13
20	10100	24	14
32	100000	40	20
50	110010	62	32
60	111100	74	3C
64	1000000	100	40
100	1100100	144	64
255	11111111	377	FF
1000	1111101000	1750	3E8

是7位),读写不便。但一般数字系统(包括数字计算机在内)还是经常使用二进制。而为了读写方便起见,常把二进制改写成八进制或者十六进制,下面分别加以介绍。

1. 八进制数

在八进制数中其基数为 $8_{10}=2^3$, 而它的系数是 0、1、2、3、4、5、6、7 等八个数字符号, 它也是用位置计数法。如 n 位的八进制整数表示如下

$$M_8 = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \times 8^i \quad (1-5)$$

【例 1-4】求八进制数 352_8 的等价十进制数。

解: $M_8 = 352_8 = 3 \times 8^2 + 5 \times 8^1 + 2 \times 8^0$
 $= 192 + 40 + 2 = 234_{10}$

2. 十六进制数

十六进制的基数为 $16_{10}=2^4$, 并用 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F 等十六个符号表示它的系数, 它们相当于十进制数的值如表 1-2 中所示, 例如 $A_{16}=10_{10}$; $B_{16}=11_{10}$; $\dots\dots F_{16}=15_{10}$ 。十六进制整数的最低有效位的权是 16^0 , 而其相邻高位的权是 16^1 , 再其次位的权是 $16^2=256_{10}$, 依此类推。故它是“逢十六进一”。

【例 1-5】一个十六进制整数 $2AE_{16}$ 的等价十进制数为多少?

解: $2AE_{16} = 2 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 14 \times 16^0$
 $= 512 + 160 + 14 = 686_{10}$

1-1-4 数制转换

在数字系统中常常使用二进制、十六进制, 而人们习惯用十进制, 因此要把一个十进制数送到计算机或者数字系统中时, 必须把十进制数转换为二进制数。而计算机的计算结果需要输出给人们看时, 要把二进制数转换为十进制数。因此需要数制转换, 最常用的是二进制数和十进制数之间的转换。

1. 二进制数转换成十进制数

常用的方法是建立在加权系数之和的基础上, 这在[例1-1]中已讲过。它适用于整数也适用于分数和混合数。这个方法利用 2 的幂的表(表1-3)及两条规律:(1) 任何位置的系数是1, 意味着相应的 2 的幂在和中存在;(2) 任何位置的系数为0, 意味着相应的 2 的幂在和中不存在。表 1-3 中的 n 是代表该数是第 n 位。最低有效位为第零位, 其次为第 1 位。如是 m 位数, 则其最高有效位为第 $m-1$ 位。 2^n 及 2^{-n} 是权。如第 0 位的权是 1, 第 1 位的权是 2, 第 4 位的权是 16 等。一个五位二进制数 $M_2=11011_2$, 其最高有效位的权为 $2^{5-1}=2^4=16$; 其次是 2^3 , 查表 1-3 得 8; 2^2 位的系数为 0, 故不计其值; 而 $2^1=2$; 最低有效位 $2^0=1$, 然后再求其和:

$$M_2 = 11011_2 = 16 + 8 + 2 + 1 = 27_{10}$$

2. 十进制数转换为二进制数

我们只介绍两种方法:

表 1-3 2 的乘方表

2^n	n	2^{-n}
1	0	1.0
2	1	0.5
4	2	0.25
8	3	0.125
16	4	0.0625
32	5	0.03125
64	6	0.015625
128	7	0.0078125
256	8	0.00390625
512	9	0.001953125
1024	10	0.0009765625
2048	11	0.00048828125
4096	12	0.000244140625
8192	13	0.0001220703125
16384	14	0.00006103515625
32768	15	0.000030517578125
65536	16	0.0000152587890625
131072	17	0.00000762939453125
262144	18	0.000003814697265625
524288	19	0.0000019073486328125
1048576	20	0.00000095367431640625

(1) 余数法(或称除 2 取余法)

采用下面的算法把十进制整数转换成二进制数

第一步: 把给出的十进制数除以 2, 余数为 0 或 1 就是二进制数的最低有效位(LSB)。

第二步: 把前一步所得之商再除以 2, 余数表示次低位(权为 2^1)。

第三步及以后各步: 继续相除, 记下余数。直到最后相除之商为 0, 写下系数。

例如, 将十进制数的 6 用二进制数表示, 根据按权展开式

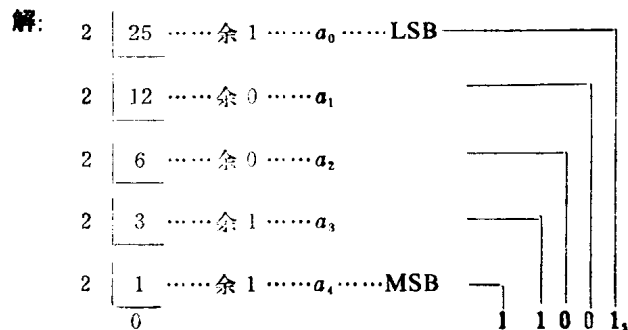
$$6_{10} = a_2 \times 2^2 + a_1 \times 2^1 + a_0 \times 2^0 = (a_2 \times 2 + a_1) \times 2 + a_0$$

上式中 a_2, a_1, a_0 分别是各位的系数(可能是 1 或 0)。上式中可以看成是: 当 6_{10} 被 2 除后, 所得的商是 $(a_2 \times 2 + a_1)$, 而余数为 a_0 。然后再将其商 $(a_2 \times 2 + a_1)$ 除以 2, 所得的商为 a_2 , 而余数是 a_1 。继续下去, 则余数为 a_2 , 得到的商数为 0。这样不再继续。所得的 a_2, a_1, a_0 就是十进制数 6 的二进制形式, 即

$$\begin{array}{rcl}
 2 & \overline{) 6} & \cdots \cdots \text{余 } 0 \cdots \cdots a_0 \cdots \cdots \text{LSB} \\
 2 & \overline{) 3} & \cdots \cdots \text{余 } 1 \cdots \cdots a_1 \cdots \cdots \\
 2 & \overline{) 1} & \cdots \cdots \text{余 } 1 \cdots \cdots a_2 \cdots \cdots \text{MSB} \\
 & 0 &
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{c}
 \text{---} \\
 \text{---} \\
 \text{---} \\
 1 \ 1 \ 0_2
 \end{array}$$

所以 $6_{10} = 110_2$

[例 1-6] 将十进制数25转换为二进制形式。



即 $25_{10} = 11001_2$

总之,十进制整数变为二进制整数时,可以通过不断地除以 2,直到出现商等于零时为止。每次所得余数(必为 0 或 1)就是二进制整数从最低有效位到最高有效位的各位数值。

(2) 查表法

十进制数转换为二进制数时,仍可以用式(1-4)和表 1-3 来完成。它是判断给定的数中所包含 2 的幂,首先把 2 的最高幂判断出来,然后从给定的数中将它减去。同样的方法再用于余数。如此,对每次所得之差值重复上述步骤,直到所得之差为 1 或为 0 时为止。

[例 1-7] 将十进制数 81_{10} 转换为二进制数。

解:

第一步: 81_{10} 所包含的最大 2^i 为 $2^6 = 64_{10}$ 。

第二步: $81_{10} - 64_{10} = 17_{10}$ 。

第三步: 17_{10} 所包含的最大 2^i 为 $2^4 = 16_{10}$ 。

第四步: $17_{10} - 16_{10} = 1_{10} = 2^0$ 。余数已是最低有效位,因为 $1_{10} = 1 \times 2^0$ 。

第五步: 从最高到最低的 2 的幂数相加,添上幂数的系数为 0 的项,如 $0 \times 2^5, 0 \times 2^3, 0 \times 2^2, 0 \times 2^1$ 等,这些都是以上几步中不出现的项。因此

$$81_{10} = 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

并且可用位置记数法表示

$$81_{10} = 1010001_2$$

这种方法只应用于数值较小的情况。

3. 二进制与八进制的相互转换

(1) 二进制数转换为八进制数

从表 1-1 中可以看出,二进制整数转换为八进制数时,只要将二进制数从最低有效位往左每相邻三位组成一组,每组用一位等价的八进制来代表即可。

例如,十进制数 100_{10} 的等价二进制数为 1100100_2 ,将它转换为八进制数时,可表示如下:

<u>1</u>	<u>100</u>	<u>100</u>
↓	↓	↓
001		
↓	↓	↓
1	4	4

即

$$1100100_2 = 144_8$$