



# 数字电子技术 实用教程

主 编 ◎ 张彩荣

 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 数字电子技术实用教程

主 编 张彩荣

副主编 刘建华 于 雷

参 编 刘丽君 李桂林



 **北京理工大学出版社**  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书是专门为应用型电类本科专业的数字电子技术课程编写的教材。该教材采用案例教学方法，在内容的编排上，按照先引入、后展开，先基础、后综合，先理论、后实践的顺序，本着应用类课程理论基本够用、以实用为主的原则，力求简明扼要、通俗易懂。

全书内容共分八章，分别是数字逻辑基础、门电路与触发器、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、半导体存储器、数/模和模/数转换电路、课程综合设计及实习。

本书可作为高等院校电气工程及其自动化、自动化、轨道交通信号与控制、测控技术与仪器、信息工程、通信工程、电子科学与技术、计算机应用等电类专业的数字电子技术理论及课程设计实习教材，也可作为其他非电专业及工程技术人员参考用书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术实用教程 / 张彩荣主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.11

ISBN 978-7-5682-5000-9

I. ①数… II. ①张… III. ①数字电路-电子技术-高等学校-教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 284919 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 329 千字

版 次 / 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

定 价 / 57.00 元

责任编辑 / 张鑫星

文案编辑 / 张鑫星

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

# 前 言

在现代工业、农业、民用、国防等各行各业中，几乎没有一个产品能脱离“数字化”，这使得“数字电子技术基础”课程成为国内外高等院校电气工程及自动化、自动化、轨道交通信号与控制、测控技术与仪器、通信工程、电子科学与技术、电子信息工程、计算机应用等电类专业及机械、建筑等非电类专业的一门重要的专业基础课，同时也是工程技术人员及电子技术爱好者必须学习的一门专业基础课程，有非常广泛的应用范围。

近年来，数字电子技术涉及的理论、实用技术、教学内容、教学方法都发生了深刻的变化。2009 年教育部高等学校电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会修订了《“数字电子技术基础”课程教学基本要求》，2011 年教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会修订了《电工学课程教学基本要求》。《“数字电子技术基础”课程教学基本要求》中，课程的内容包括理论教学部分和实验教学部分，建议有条件的学校开设电子技术基础课程设计课。

目前，大部分高等院校电类专业的数字电子技术课程理论部分为单独的两门课程，即将经典的数字电子技术内容称为“数字电子技术基础”，将现代数字电子技术内容（可编程逻辑器件及 EDA 应用）称为“数字系统设计”，实验部分是单独开课，实习及设计部分则设为实践教学环节。本书作者根据数字电子技术及电工课程教学基本要求的变化、实际教学计划的制订情况，编写了这本数字电子技术实用教程。

本书的中心内容是数字电子技术基础中的经典部分及课程设计实习部分内容。

本书内容分为 8 章，第 1 章讲述数字逻辑基础，包括数字量与数字电路、数制及其转换、码制及常用编码、二进制数的运算、逻辑运算公式及定理、逻辑函数的表示方法及其转换、逻辑函数的化简。第 2 章讲解门电路和触发器，包括半导体器件的开关特性、分立元件门电路、TTL 门电路、CMOS 门电路、门电路型号命名及正确使用、触发器的电路结构及动作特点、触发器的逻辑功能及描述、集成触发器。第 3 章讲解组合逻辑电路，包括组合逻辑电路的一般分析方法、组合逻辑电路的设计方法、组合逻辑电路中的竞争-冒险、常用的集成组合逻辑电路。第 4 章讲解时序逻辑电路，包括时序逻辑电路的基本概念、时序逻辑电路的分析、典型时序逻辑电路、时序逻辑电路的设计。第 5 章讲解脉冲波形的产生与变换，包括单稳态触发器、施密特触发器、多谐振荡器、555 定时器及其应用，分别介绍了单稳态触发器、施密特触发器、多谐振荡器的特点，由门电路构成的电路，由 555 定时器构成的电路。第 6 章讲解了半导体存储器，包括半导体存储器结构、分类、容量计算及扩展，只读存储器（ROM）结构及应用，随机存储器（RAM）结构及应用。第 7 章讲解了数/模和模/数转换器，包括数/模转换器的结构、主要性能指标、典型电路、典型集成芯片及应用，模/数转换器的结构、主要性能指标、典型电路、典型集成芯片及应用。第 8 章讲解了课程综合设计及实习，包括课



程综合设计实习概述、课程综合设计、课程综合实习。

本书是专门为应用型本科电类专业的数字电子技术课程编写的教材，可作为高等院校电气工程及自动化、自动化、轨道交通信号与控制、测控技术与仪器、信息工程、通信工程、电子科学与技术、计算机应用等电类专业的数字电子技术理论及课程设计实习教材，也可作为其他非电专业及工程技术人员参考用书。

该教材采用案例教学方法，在内容的编排上，本着先引入、后展开，先基础、后综合，先理论、后实践的顺序，本着应用类课程理论基本够用、以实用为主的原则，力求简明扼要、通俗易懂。

本书由张彩荣任主编并编写了第1章、第2章、第4章的4.3、4.4节、第6章，刘建华任副主编并编写了第3章、第4章的4.1、4.2节、第5章、第7章，刘丽君编写了第8章的8.1、8.2节，李桂林编写了第8章的8.3节，于雷也参与了本书编写。

由于时间仓促，作者水平有限，书有错误地方，敬请读者批评指正。在本书的编写过程中，许多同行给予了很多帮助、指导，并提出了宝贵的修改意见，在此一并致以诚挚的谢意！

编 者

# 目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数字量与数字电路	1
1.1.1 数字量	1
1.1.2 数字信号	1
1.1.3 逻辑电平	2
1.1.4 数字电路	2
1.2 数制及其转换	3
1.2.1 数制	3
1.2.2 4 种常用的数制	3
1.2.3 4 种常用数制之间的转换	4
1.3 码制及常用编码	9
1.3.1 码制	9
1.3.2 BCD 码	9
1.3.3 可靠性编码	11
1.3.4 字符编码	15
1.4 二进制数的运算	16
1.4.1 算术运算	16
1.4.2 逻辑运算	19
1.5 逻辑运算公式及定理	23
1.5.1 逻辑运算公式	23
1.5.2 逻辑运算定理	24
1.6 逻辑函数的表示方法及其转换	25
1.6.1 逻辑函数的表示方法	25
1.6.2 逻辑函数表示方法的转换	28
1.7 逻辑函数的化简	30
1.7.1 公式化简法	30
1.7.2 卡诺图化简法	31
1.7.3 具有无关项的逻辑函数及其化简	32
本章小结	33
第 2 章 门电路与触发器	35
2.1 半导体器件的开关特性	35



2.1.1	二极管开关特性	35
2.1.2	三极管开关特性	36
2.1.3	MOS 管开关特性	36
2.2	分立元件门电路	37
2.2.1	二极管与门	37
2.2.2	二极管或门	38
2.2.3	三极管非门	38
2.3	TTL 门电路	39
2.3.1	TTL 非门的结构及原理	39
2.3.2	TTL 非门外特性	40
2.3.3	其他 TTL 门电路	43
2.4	CMOS 门电路	47
2.4.1	CMOS 非门的结构及原理	47
2.4.2	CMOS 非门外特性	47
2.4.3	其他 CMOS 门电路	49
2.5	门电路型号命名及正确使用	52
2.5.1	门电路型号命名	52
2.5.2	门电路的正确使用	52
2.6	触发器的电路结构及动作特点	53
2.6.1	基本 SR 触发器	54
2.6.2	同步触发器	57
2.6.3	主从触发器	59
2.6.4	边沿触发器	60
2.7	触发器的逻辑功能及描述	66
2.7.1	SR 触发器	66
2.7.2	D 触发器	67
2.7.3	JK 触发器	68
2.7.4	T 触发器	69
2.7.5	触发器逻辑功能的转换	69
2.8	集成触发器	70
	本章小结	72
<b>第 3 章</b>	<b>组合逻辑电路</b>	<b>78</b>
3.1	组合逻辑电路的一般分析方法	78
3.1.1	组合逻辑电路的分析方法	78
3.1.2	组合逻辑电路分析举例	79
3.2	组合逻辑电路的设计方法	80
3.2.1	组合逻辑电路的设计方法	80
3.2.2	组合逻辑电路设计举例	80
3.3	组合逻辑电路中的竞争-冒险	82

3.3.1 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	82
3.3.2 竞争-冒险现象产生的原因	82
3.3.3 竞争-冒险现象的判断	83
3.3.4 消除竞争-冒险现象的方法	83
3.4 常用的集成组合逻辑电路	84
3.4.1 加法器	85
3.4.2 编码器	88
3.4.3 译码器	92
3.4.4 数据选择器	100
3.4.5 数值比较器	106
本章小结	108
<b>第4章 时序逻辑电路</b>	<b>109</b>
4.1 时序逻辑电路的基本概念	109
4.1.1 时序逻辑电路的结构	109
4.1.2 时序逻辑电路的分类	110
4.1.3 时序逻辑电路的描述方法	110
4.2 时序逻辑电路的分析	112
4.2.1 时序逻辑电路的一般分析方法	112
4.2.2 同步时序逻辑电路的分析	112
4.2.3 异步时序逻辑电路的分析	115
4.3 典型时序逻辑电路	117
4.3.1 寄存器和移位寄存器	117
4.3.2 计数器	123
4.4 时序逻辑电路的设计	135
4.4.1 时序逻辑电路的一般设计方法	135
4.4.2 顺序脉冲发生器设计	137
4.4.3 序列信号发生器设计	138
本章小结	139
<b>第5章 脉冲波形的产生与变换</b>	<b>141</b>
5.1 单稳态触发器	141
5.1.1 单稳态触发器的特点	141
5.1.2 集成单稳态触发器	142
5.1.3 单稳态触发器的应用	145
5.2 施密特触发器	146
5.2.1 施密特触发器的特点	146
5.2.2 集成施密特触发器	147
5.2.3 施密特触发器的应用	148
5.3 多谐振荡器	149
5.3.1 多谐振荡器的工作特点	149





5.3.2	由施密特触发器构成的多谐振荡器	149
5.3.3	环形振荡器	150
5.3.4	石英晶体振荡器	151
5.4	555 定时器及其应用	152
5.4.1	555 定时器的电路及其功能	152
5.4.2	555 定时器构成的单稳态触发器	154
5.4.3	555 定时器构成的施密特触发器	155
5.4.4	555 定时器构成的多谐振荡器	156
	本章小结	157
<b>第 6 章</b>	<b>半导体存储器</b>	159
6.1	半导体存储器的结构及容量	159
6.1.1	半导体存储器的分类	159
6.1.2	半导体存储器的结构	160
6.1.3	半导体存储器的容量及扩展	162
6.2	只读存储器 (ROM)	164
6.2.1	只读存储器的存储单元	164
6.2.2	用 ROM 设计组合逻辑电路	167
6.2.3	集成只读存储器芯片	171
6.3	随机存储器 (RAM)	173
6.3.1	随机存储器的存储单元	173
6.3.2	集成随机存储器芯片	175
	本章小结	176
<b>第 7 章</b>	<b>数/模和模/数转换电路</b>	178
7.1	数/模转换器 (D/A)	178
7.1.1	权电阻网络 D/A 转换器	178
7.1.2	倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	179
7.1.3	集成 D/A 转换器及其应用	180
7.1.4	主要性能指标	184
7.2	模/数转换器 (A/D)	184
7.2.1	A/D 转换器原理	185
7.2.2	逐次逼近型 A/D 转换器	185
7.2.3	双积分型 A/D 转换器	187
7.2.4	集成 A/D 转换器及其应用	189
7.2.5	A/D 转换器的主要性能指标	192
	本章小结	192
<b>第 8 章</b>	<b>课程综合设计及实习</b>	193
8.1	课程综合设计实习概述	193
8.1.1	课程综合设计实习的目的	193
8.1.2	课程综合设计实习的教学方式	193

8.1.3	课程综合设计实习的教学要求·····	194
8.1.4	课程综合设计实习报告的编写注意事项·····	194
8.1.5	课程综合设计实习的成绩评定办法·····	194
8.2	课程综合设计·····	195
8.2.1	设计方法及课题·····	195
8.2.2	设计举例·····	196
8.3	课程综合实习·····	204
8.3.1	实习方法及内容·····	204
8.3.2	实习举例·····	205
参考文献	·····	214

# 第 1 章

## 数字逻辑基础

### ● 案例引入

在电路分析的课程中，我们学习了正弦交流电路及非正弦周期电路的分析计算方法。在模拟电子技术课程中，我们学习了三极管构成的放大电路，它们的共同特点是研究的对象为模拟量，即在时间和幅值上都连续的量，最典型的是正弦量。在实际电路中，除了有模拟量外，还存在有其他特性的量吗？

在医院住院部，我们都见到过这种场景：住院的病人输液出现问题或有其他问题时，按一下床头的按钮，护士站会有铃响，同时数码管还会显示病人的床位号，护士知道是哪位患者有问题，马上前去解决。这就是本课程要学习的应用数字电路解决问题。

本章我们先讲数字电路的基础知识，包括：什么是数字电路？数字量能表示什么信息？如何表示？能进行什么运算？运算时有什么公式及方法？

## 1.1 数字量与数字电路

### 1.1.1 数字量

在实际生活中，除了时间及幅值都连续的模拟量外，还有一类在时间及幅值上都不连续的量，叫作数字量。例如：楼梯的台阶数、工厂产品的个数、班级人数、学生成绩、电路开关的状态等。

你还能列举一些数字量吗？

### 1.1.2 数字信号

我们将表示数字量的电信号称为数字信号。

如自动生产线上的产品统计量用电路显示为十进制数 5 时，电路内部实际为二进制数 101，这个 101 就称为数字信号，它是用电信号来表示的数字量。

这个数字量转换为数字信号的过程是怎样的呢？假设自动生产线上已经生产了 5 个产品，用电路统计时是一个一个进行累加的，用图形表示如图 1-1 所示。

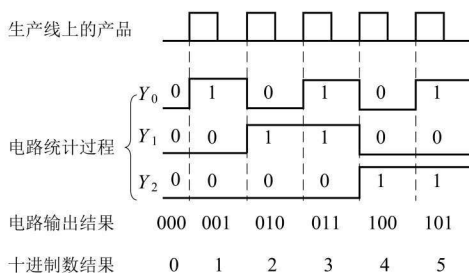


图 1-1 数字量转换为数字信号

从图 1-1 统计过程可以看出：电路用了三个器件，每个器件只记录 0、1，计满后向高位产生进位，这样可以记录及统计很多产品的数量。

在电路中如何记录 0 和 1 呢？

### 1.1.3 逻辑电平

在实际电路中，数字“0”和“1”用电压的高低来表示。在图 1-2 (a) 二极管电路中，当输入电压  $v_i$  为 0V 时，二极管加正向电压，二极管导通，相当于图 1-2 (b) 中开关 S 闭合，输出电压  $v_o$  为 0V，我们称为低电平，表示数字“0”；当输入电压  $v_i$  为  $V_{CC}$  时，二极管截止，相当于图 1-2 (b) 中开关 S 断开，输出电压  $v_o$  为  $V_{CC}$ ，我们称为高电平，表示数字“1”。这种用高电平表示数字“1”、用低电平表示数字“0”的方法称为正逻辑，也可以用相反的方法表示，称为负逻辑，如图 1-2 (c) 所示，一般默认用正逻辑。这种电路中的高低电平就是数字信号。

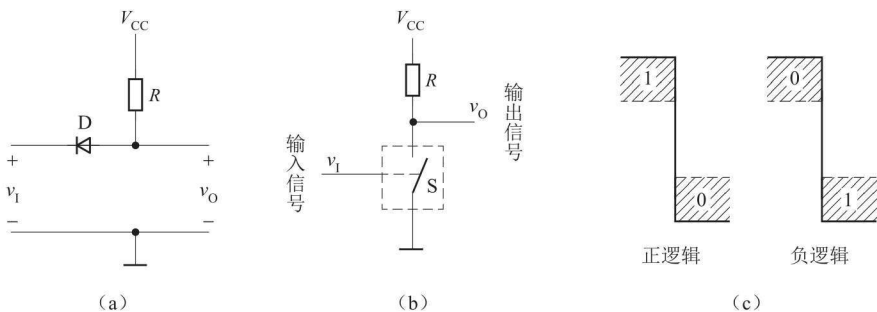


图 1-2 二极管电路的“0”和“1”

除了二极管电路可以表示电压高低两种状态外，三极管电路也可以表示电路电压的高低。三极管如何表示电压高低？还有其他电路能表示电路电压高低吗？

### 1.1.4 数字电路

数字信号有什么作用呢？主要有两种用途，一是可以表示量的大小或多少，二是表示不同的事物，即对不同的事物进行编码区分。不论什么用途，都要对数字信号进行存储、传输、运算处理等操作。这些操作是如何完成的？

用于存储、传递、处理数字信号的电子电路，称为数字电路。

数字电路具体是什么电路结构？

根据结构不同，有分立元件电路和集成电路两大类。分立元件电路是将二极管、三极管、MOS 管、电阻、电容等元器件用导线在线路板上连接起来的电路。而集成电路是将上述元件和导线通过半导体制造工艺做在一块硅片上而成为一个整体的电路。

数字电路的特点：

- (1) 工作信号是不连续变化的离散（数字）信号，表现为电路中电压的高低。
- (2) 研究对象是电路输入/输出之间的逻辑关系，每个输入输出都是二值信号。
- (3) 分析工具是逻辑代数，研究二值函数的数学工具。
- (4) 描述逻辑关系的工具有逻辑表达式、真值表、卡诺图、逻辑图、时序波形图、状态

转换图。

数字电路的优点：

(1) 集成度高。由于要求电路只有高低电平两个工作状态，所以电路的结构简单，有利于将众多基本单元电路集成在同一块硅片上进行批量生产。

(2) 可靠性高。数字电路是用高低电平表示信号的有无，而高低电平有较宽的范围，所以数字电路的工作可靠性高，抗干扰能力强。

(3) 保存时间长。借助介质（磁盘、光盘、半导体硬盘等）可将数字信号长期保存。

(4) 通用性强。数字电路产品系列多，功能丰富。

(5) 保密性好。数字信息容易进行加密处理，不易被窃取。

数字电路与模拟电路的区别：

(1) 工作任务不同。模拟电路研究的是输出与输入信号之间的大小、相位、失真等方面的关系；数字电路主要研究的是输出与输入间的逻辑关系。

(2) 三极管的工作状态不同。模拟电路中的三极管工作在线性放大区，是一个放大元件；数字电路中的三极管工作在饱和或截止状态，起开关作用。

(3) 基本单元电路不同。模拟电路的基本单元电路是放大电路；数字电路的基本单元电路是门电路及触发器。

(4) 分析方法不同。模拟电路用微变等效电路法及图解法进行分析；数字电路用逻辑代数工具进行分析。

## 1.2 数制及其转换

### 1.2.1 数制

当一个数码用来表示大小时，一位数能够记录的数是有限的，因此需要多位数来计数，多位数之间涉及进位问题。数制是对数量计数的一种方法，是进位计数制的简称。

一种进位计数制包含着基数和位权两个要素。

基数是指计数制中所用到的数字符号的个数，即一位数能计数的最多个数。在基数为  $R$  的计数制中，包含  $0, 1, 2, \dots, R-1$  共  $R$  个数码，进位规律是“逢  $R$  进一”，称为  $R$  进制。

位权是指在一种进位计数制表示的数中，用来表明不同数位上数值大小的一个固定常数。不同数位有不同的位权，某一个数位的数值等于这一位的数码乘以与该位对应的位权。

数制的表达式及各符号含义如图 1-3 所示。

例如十进制数 247.5 可以写成  $2 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1}$ ，其中 2、4、7、5 为数码， $10^2$ 、 $10^1$ 、 $10^0$ 、 $10^{-1}$  为权位。

### 1.2.2 4 种常用的数制

在实际生产生活中，我们常用的数制有十进制（Decimal）、二进制（Binary）、十六进制（Hexadecimal）、八进制（Octal）。

在日常生活中广泛使用的是十进制计数法，我们从小习惯用它计数及运算。

在计算机的数字电路中，由于只有高、低电平两种状态，所以计算机中运行的是二进制

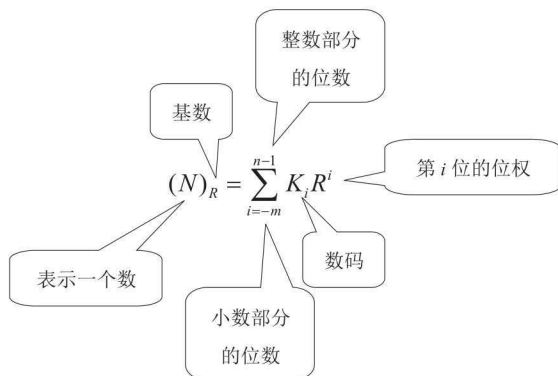


图 1-3 数制的表达式及各符号含义

数，如 10110.011。当数值较大，二进制位数较多时，书写不方便，阅读容易出错，如 64 位二进制数 11001001\_11100011\_00010111\_11110000\_11001100\_10011001\_01110111\_00110011，如果没有中间的分隔符，很难正确读写。

为了方便读写，引入了十六进制数，即每四位二进制数用一位十六进制数来表示。例如：二进制数 0011 用十六进制数 3 表示，二进制数 1100 用十六进制数 C 表示，二进制数 1111 用十六进制数 F 表示。上述的 64 位二进制数可以写成十六进制数 C9E317F0CC997733，比二进制数方便了很多。十六进制数的本质还是二进制数，所以有的计数器称为十六进制计数器，也可以称为二进制计数器。

在实际工程中，还会用到八进制数。例如对可编程控制器 PLC 的输入输出端口编号时用的就是八进制规则。如 X0.0、X0.1、X0.2、X0.3、X0.4、X0.5、X0.6、X0.7、X1.0、X1.1、X1.2、X1.3、X1.4、X1.5、X1.6、X1.7、X2.0、X2.1 等。

4 种常用数制的数码、基数、计数规律及表示方法见表 1-1。

表 1-1 4 种常用数制的数码、基数、计数规律及表示方法

数制	数码 $K$	基数 $R$	计数规律	表示方法
十进制 (Decimal)	0、1、2、3、4 5、6、7、8、9	10	逢十进一 借一当十	$N$ 或 $(N)_{10}$ 或 $(N)_D$
二进制 (Binary)	0、1	2	逢二进一 借一当二	$(N)_2$ 或 $(N)_B$
十六进制 (Hexadecimal)	0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、 B、C、D、E、F	16	逢十六进一 借一当十六	$(N)_{16}$ 或 $(N)_H$
八进制 (Octal)	0、1、2、3、 4、5、6、7	8	逢八进一 借一当八	$(N)_8$ 或 $(N)_O$

在实际中，还有很多其他数制。如日历时钟中用到的 60 进制、24 进制、12 进制、365 进制等。

### 1.2.3 4 种常用数制之间的转换

同样数量的物品，可以用不同进制进行计数。因此，不同数制的数之间可以进行转换。

### 1. 任意进制数转换为十进制数

方法1: 将任意进制数按权位展开相加, 所得结果即为转换的十进制数, 即

$$(N)_R = \left( \sum_{i=-m}^{n-1} K_i R^i \right)_{10}$$

【例1-1】将下列各进制数转换为十进制数: (1)  $(11001.101)_2$ ; (2)  $(ABC.8)_{16}$ ; (3)  $(764.5)_8$ 。

解: 方法1:

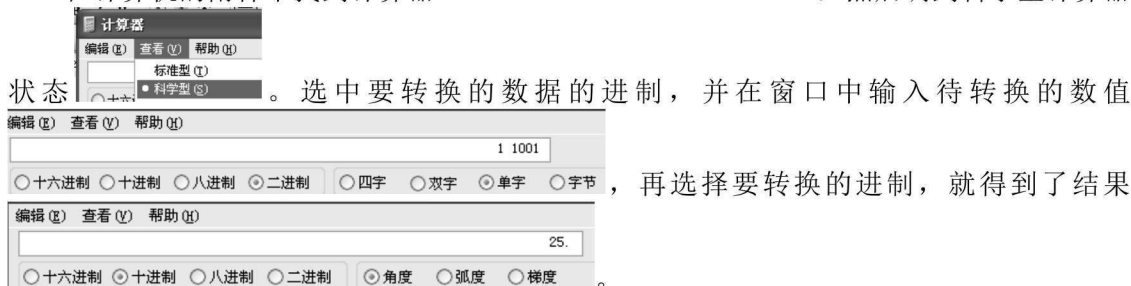
$$(1) (11001.101)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} = (25.625)_{10}$$

$$(2) (ABC.8)_{16} = 10 \times 16^2 + 11 \times 16^1 + 12 \times 16^0 + 8 \times 16^{-1} = (2748.5)_{10}$$

$$(3) (764.4)_8 = 7 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 4 \times 8^0 + 4 \times 8^{-1} = (500.5)_{10}$$

方法2: 整数可以用计算机中的科学计算器转换。

在计算机的附件中找到计算器  程序(E)  附件  计算器, 然后调到科学型计算器



### 2. 十进制数转换为二进制数

整数部分和小数部分转换的方法不同, 要分别进行转换。

(1) 十进制整数转换为二进制整数。

方法1: “除2取余”法, 即将十进制的整数不断除2, 得到的余数按先得为低位, 后得为高位的顺序排列, 转换成二进制整数。这是一种通用的方法。

原理: 设  $N$  为十进制整数, 可以转换为二进制数, 写成表达式为

$$(N)_{10} = \sum_{i=0}^{n-1} k_i 2^i = k_{n-1} 2^{n-1} + k_{n-2} 2^{n-2} + \cdots + k_2 2^2 + k_1 2^1 + k_0 2^0$$

将两边同时除以2, 结果为  $(N)_{10}/2 = k_{n-1} 2^{n-2} + k_{n-2} 2^{n-3} + \cdots + k_2 2^1 + k_1 2^0 + k_0/2$ ,  $k_0$  为第一次得到的余数, 以此类推, 可以得到最后的余数  $k_{n-1}$ 。

【例1-2】将十进制数37转换成二进制数。

解: 根据“除2取余”法的原理, 按如下步骤转换:

2	37	.....余1	$k_0$	↑ 读 取 次 序
2	18	.....余0	$k_1$	
2	9	.....余1	$k_2$	
2	4	.....余0	$k_3$	
2	2	.....余0	$k_4$	
2	1	.....余1	$k_5$	
0				

则 $(37)_{10}=(100101)_2$ 。

方法 2：“按权位相加”法，即把十进制数分解为不同权位的二进制数，对应结果相加，再将对应的二进制数的权位的数码直接写出就得到二进制的结果了。

这种方法要求熟悉数值较小的二进制数的权位与十进制数之间的关系。

二进制权位	$2^0$	$2^1$	$2^2$	$2^3$	$2^4$	$2^5$	$2^6$	$2^7$
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
十进制数	1	2	4	8	16	32	64	128
二进制数码	$k_0$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$k_5$	$k_6$	$k_7$


**【例 1-3】** 将十进制数 37 转换成二进制数。

解： $(37)_{10}=32+4+1=2^5+2^2+2^0=(100101)_2$

显然，如果你能将十进制数很快分解为二进制的权位，那么这种方法就比“除 2 取余”法快。

方法 3：“科学计算器”法，用计算机中的科学计算器转换。

**【例 1-4】** 将十进制数 37 转换成二进制数。

解：

得到 $(37)_{10}=(100101)_2$ 。

以下各种数制之间的整数转换都可以用科学计算器来完成。

(2) 十进制小数转换为二进制小数。

方法 1：“乘 2 取整”法，即将十进制的小数乘 2，得到的整数作为二进制的小数，然后再将十进制小数乘 2，再取整数，不断将十进制小数乘 2 取整，按先得整数部分为二进制小数的高位，后得为低位的顺序排列，就将十进制数的小数部分转换成二进制小数了。

原理：设  $0.N$  为十进制小数，可以转换为二进制数，写成表达式为

$$(0.N)_{10} = \sum_{i=1}^{-m} k_i 2^{-i} = k_{-1} 2^{-1} + k_{-2} 2^{-2} + \cdots + k_{-m} 2^{-m}$$

将两边同时乘 2，结果为  $2 \times (0.N)_{10} = k_{-1} + k_{-2} 2^{-1} + \cdots + k_{-m+1} 2^{-m+1}$ ， $k_{-1}$  为第一次得到的整数，以此类推，可以得到  $k_{-m+1}$ 。

需要说明的是，十进制小数转换为二进制小数不一定能完全转换，会有误差。

**【例 1-5】** 将十进制数 $(0.562)_{10}$ 转换成误差  $\varepsilon$  不大于  $2^{-6}$  的二进制数。

解：用“乘 2 取整”法，按如下步骤转换

	取整
$0.562 \times 2 = 1.124$	$\cdots \cdots 1 \cdots \cdots k_{-1}$
$0.124 \times 2 = 0.248$	$\cdots \cdots 0 \cdots \cdots k_{-2}$
$0.248 \times 2 = 0.496$	$\cdots \cdots 0 \cdots \cdots k_{-3}$
$0.496 \times 2 = 0.992$	$\cdots \cdots 0 \cdots \cdots k_{-4}$
$0.992 \times 2 = 1.984$	$\cdots \cdots 1 \cdots \cdots k_{-5}$

由于最后的小数  $0.984 > 0.5$ ，根据“四舍五入”的原则， $k_{-6}$  应为 1。因此

$$(0.562)_{10} = (0.100011)_2$$



其误差  $\varepsilon < 2^{-6}$ 。

方法 2: “按权位相加”法。

二进制权位	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$
	↓	↓	↓	↓
十进制数	0.5	0.25	0.125	0.0625
二进制数码	$k_{-1}$	$k_{-2}$	$k_{-3}$	$k_{-4}$

**【例 1-6】** 将十进制数  $(0.8125)_{10}$  转换成二进制数。

解:  $(0.8125)_{10} = 0.5 + 0.25 + 0.0625 = (0.1101)_2$

### 3. 二进制数与十六进制数之间的转换

由于一位十六进制数可以表示四位二进制数, 所以二进制与十六进制之间可以进行快速转换。

(1) 二进制转换为十六进制。

将二进制数以小数点为界限, 向左及向右各分为四位一组, 每组二进制数用一位十六进制数表示即可。

需要注意的是, 小数点的位置不动, 整数最左面不够四位时在最左面补 0, 小数最右面不够四位时在最右面补 0。

**【例 1-7】** 将二进制数  $111100010101010110101.1101101$  转换为十六进制数。

解:

0001	1110	0010	1010	1011	0101	1101	1010
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1	E	2	A	B	5	D	A

结果为  $(111100010101010110101.1101101)_2 = (1E2AB5.DA)_{16}$

整数部分用科学计算器:



(2) 十六进制转换为二进制。

小数点位置不动, 将每位十六进制数用四位二进制数表示即可。

**【例 1-8】** 将十六进制数  $ABCD.EF95$  转换为二进制数。

解:

A	B	C	D	.	E	F	9	5
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1010	1011	1100	1101	.	1110	1111	1001	0101

结果为  $(ABCD.EF95)_{16} = (1010101111001101.1110111110010101)_2$

整数部分用科学计算器:



### 4. 二进制数与八进制数之间的转换

一位八进制数可以表示三位二进制数, 所以二进制与八进制之间也可以快速转换。方法