

高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

数字电子技术基础

毛炼成 谈进 主编



Fundamentals of Digital Electronic Technique

内容通俗易懂

提供仿真实验

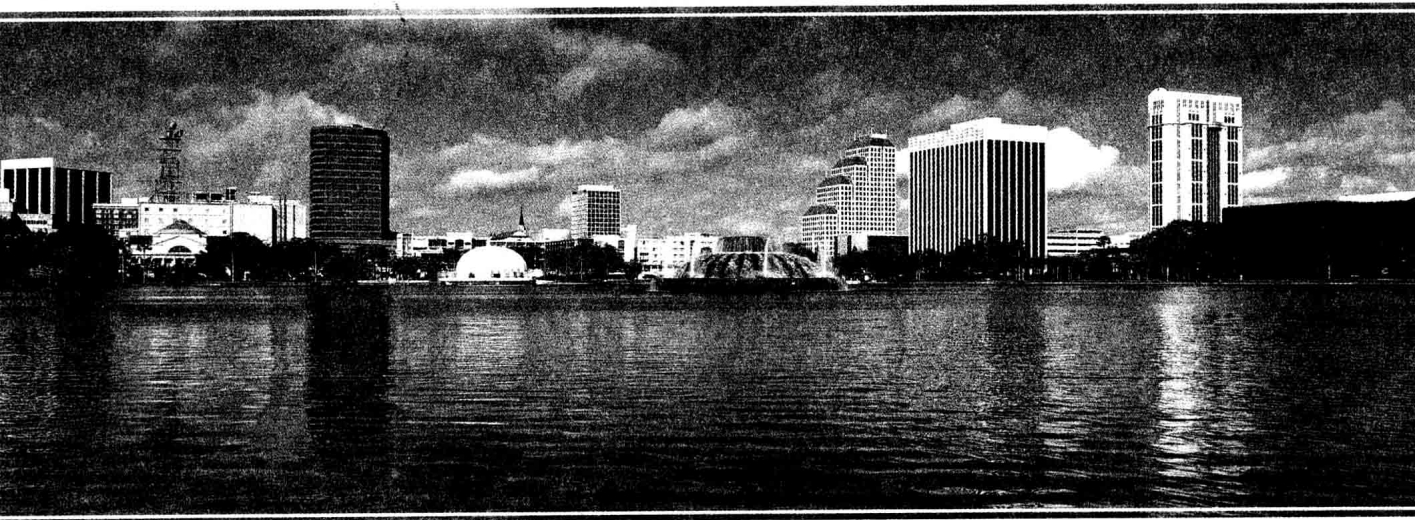
培养工作技能

 **人民邮电出版社**
POSTS & TELECOM PRESS

高等职业教育电子技术技能培养规划教材
Gaodeng Zhiye Jiaoyu Dianzi Jishu Jineng Peiyang Guihua Jiaocai

数字电子技术基础

毛炼成 谈进 主编



Fundamentals of
Digital Electronic Technique

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

数字电子技术基础 / 毛炼成, 谈进主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 5
高等职业教育电子技术技能培养规划教材
ISBN 978-7-115-19678-1

I. 数… II. ①毛…②谈… III. 数字电路—电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TN79

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第036639号

内 容 提 要

本书将软件仿真和理论知识有机结合, 充分运用最新的仿真工具培养学生对电子技术知识的掌握能力, 提高应用水平。

本书主要介绍 TTL 与 CMOS 门电路的逻辑功能测试, 组合逻辑元器件的逻辑功能测试与设计, 触发器的功能验证, 计数器、寄存器的设计, 简单逻辑电路的故障查询, ADC 与 DAC 的仿真训练, 555 集成定时器的应用及用 Multisim 10 设计数码显示器电子表等仿真实验。

本书可作为高职高专院校电子、通信、机电一体化、电气自动化等专业的教材, 也可供其他工程技术或维修人员参考使用。

高等职业教育电子技术技能培养规划教材

数字电子技术基础

-
- ◆ 主 编 毛炼成 谈 进
责任编辑 潘春燕
执行编辑 赵慧君
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 16
字数: 406 千字 2009 年 5 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2009 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-19678-1/TN

定价: 26.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

“数字电子技术”是高职高专院校电类专业的重要专业基础课，同时也是应用电子、通信、电气自动化等专业的重要专业技术课程。近些年来，随着科学技术的迅猛发展，集成数字逻辑电路在高速、低功耗、低电压、带电插拔、小逻辑等许多方面都取得了长足的进步，各种数字新技术、新元器件层出不穷，这无疑给该课程增添了很多新的内容。

本书综合介绍了数字电子技术的基础应用、实验与实践、故障检测模拟和计算机系统仿真等方向的知识，其中重点介绍了EDA仿真技术，为读者搭建了一条从理论学习迈向实际应用的桥梁。本书以通俗的语言和示例，讲述了数字系统分析和设计的基本理念，以培养学生的动手能力。本书具有如下特点。

(1) 本书将数字电子技术与例题做了巧妙的结合。用通俗易懂的语言重点详细介绍了基本数字逻辑元器件、逻辑分析、逻辑应用，并将设计思路、设计技巧融入到例题中，强调对学生实践应用能力的培养。

(2) 重点介绍最新仿真软件——Multisim 10。本书在对组合逻辑电路、时序逻辑电路进行分析和设计时列举了大量仿真实例。书中相应章节提供的实验可以用通用数字电路实验箱和EDA仿真软件来完成。

本书的参考学时如下。

章 节	课 程 内 容	学 时 分 配	
		讲 授	实 训
第1章	数制和码制	2	
第2章	逻辑函数	4	
第3章	逻辑门电路	6	2
第4章	组合逻辑电路	12	4
第5章	触发器	8	4
第6章	时序逻辑电路	12	4
第7章	存储器*	4	2
第8章	数/模与模/数转换	6	2
第9章	脉冲信号产生电路及应用	4	2
第10章	数字电路的软件仿真——Multisim 10的应用*	6	4
	课时总计	64	24

注：根据各校教学实际情况，书中标注*的部分可以作为专题讲座或学生自学、选修的内容，其中第10章内容最好在讲授第4、6章时插入，效果更佳。

本书的第1章、第2章、第5章、第7章、第8章以及第4章的4.4节由谈进编写，第3章、第6章、第9章、第10章、第4章4.4节以外的内容以及实验内容由毛炼成编写。

由于编者时间和水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者
2008年12月

目 录

第 1 章 数制和码制	1	2.3.3 卡诺图化简	28
1.1 模拟信号和数字信号的处理特点	1	2.3.4 计算机辅助化简*	29
1.2 数制	2	小结	30
1.2.1 十进制	2	习题	30
1.2.2 二进制	2	实验 2 Multisim 10 软件的使用 (2)	31
1.2.3 数字技术中二进制的优点	3	第 3 章 逻辑门电路	33
1.3 数制间的转换	4	3.1 门电路	33
1.3.1 二进制转换成十进制	4	3.1.1 正逻辑与负逻辑	33
1.3.2 十进制转换成二进制	4	3.1.2 非门的电路模型	34
1.3.3 其他数制的转换	5	3.1.3 其他门电路	34
1.4 数字电路中数的表示方法与格式	7	3.1.4 门电路的主要技术参数和 要求	35
1.4.1 码的概念	7	3.1.5 门电路结构及其使用	36
1.4.2 十进制数的表示	7	3.1.6 门电路型号与性能比较	37
1.5 文字符号表示方法	8	3.2 集成电路的外部封装*	38
小结	9	小结	40
习题	9	习题	41
实验 1 Multisim 10 软件的使用 (1)	10	实验 3 TTL 与 CMOS 门电路逻辑 功能的测试	41
第 2 章 逻辑函数	14	第 4 章 组合逻辑电路	47
2.1 逻辑代数基础	14	4.1 组合逻辑电路分析	47
2.1.1 逻辑代数基本运算	14	4.1.1 组合逻辑电路的定义与特点	47
2.1.2 逻辑代数基本定律	17	4.1.2 组合逻辑电路的分析	47
2.1.3 逻辑代数基本规则	20	4.2 组合逻辑电路的设计	67
2.1.4 逻辑代数常用公式	22	4.2.1 组合逻辑电路的最小化设计	67
2.1.5 逻辑运算完备集	23	4.2.2 标准化设计	69
2.2 逻辑函数及描述	23	4.3 可编程逻辑元器件	73
2.2.1 逻辑表达式	23	4.3.1 可编程元器件的表示方法	73
2.2.2 逻辑图	24	4.3.2 可编程元器件的连接方法及 编程	74
2.2.3 真值表	24	4.4 电子设计自动化与逻辑模拟*	78
2.2.4 卡诺图	24	4.4.1 ASIC 概述	78
2.2.5 标准表达式	25	4.4.2 PLD 的开发过程	79
2.2.6 非完全定义逻辑函数描述	26	4.4.3 逻辑仿真	81
2.3 逻辑函数化简	27		
2.3.1 逻辑化简的意义和标准	27		
2.3.2 公式化简	27		

4.5 门电路的竞争与冒险	84	实验 6 (2) Multisim 10 的仿真及 对比验证	135
4.5.1 产生冒险的原因	84	第 7 章 存储器*	137
4.5.2 消除竞争与冒险的方法	85	7.1 存储器的构成及分类	137
4.6 故障检测与故障模拟	88	7.1.1 存储器的构成	137
小结	88	7.1.2 存储器的分类	137
习题	89	7.2 随机读取存储器	138
实验 4 (1) 组合逻辑元器件的逻辑 功能测试与设计	90	7.2.1 静态存储器	138
实验 4 (2) Multisim 10 辅助设计组合 逻辑电路	92	7.2.2 动态存储器	143
第 5 章 触发器	93	7.2.3 主存储器的组织	146
5.1 基本 RS 触发器原理	93	7.3 只读存储器和闪速存储器	150
5.2 常用触发器	95	7.3.1 只读存储器	150
5.2.1 时钟控制 RS 触发器	95	7.3.2 闪速存储器	151
5.2.2 JK 触发器	97	小结	154
5.2.3 D 触发器	100	习题	154
5.2.4 T 触发器	102	实验 7 简单逻辑电路的故障查询	155
5.2.5 T' 触发器	103	第 8 章 数/模与模/数转换	159
5.2.6 触发器之间的转换	103	8.1 数/模转换	159
小结	103	8.1.1 数模转换的基本原理	159
习题	104	8.1.2 几种典型的数模转换方案	159
实验 5 (1) 触发器的逻辑功能测试及 应用	105	8.1.3 数/模转换器的主要性能指标	163
实验 5 (2) Multisim 10 的仿真及 对比验证	109	8.2 模/数转换	165
第 6 章 时序逻辑电路	110	8.2.1 模/数转换的基本原理	165
6.1 时序逻辑电路的分析与描述	110	8.2.2 几种典型的模/数转换方案	166
6.1.1 时序逻辑电路的基本结构与 方程描述	110	8.2.3 模/数转换器的主要性能指标	170
6.1.2 计数器	111	小结	170
6.1.3 寄存器	115	习题	171
6.2 时序逻辑电路的设计	119	实验 8 ADC 与 DAC 的仿真训练	171
6.2.1 采用中规模集成元器件的 时序逻辑电路设计	119	第 9 章 脉冲信号产生电路及应用	176
6.2.2 其他类型时序逻辑电路的 设计	125	9.1 开关信号的产生	176
小结	129	9.1.1 脉冲的基本参数	176
习题	129	9.1.2 环形振荡器	177
实验 6 (1) 计数器、寄存器的应用	131	9.1.3 用施密特触发器构成多谐 振荡器	178
		9.1.4 石英晶体振荡器	179
		9.1.5 单稳态电路	180
		9.2 555 集成定时器	184
		9.2.1 集成定时器	184
		9.2.2 多谐振荡器	185

9.2.3 555 构成单稳态电路·····	186	10.3.3 元器件之间连接·····	209
9.3 脉冲的整形·····	187	10.3.4 修改元器件属性和参数·····	210
9.3.1 施密特触发器整形·····	187	10.3.5 电路规则检查·····	211
9.3.2 555 定时器整形·····	187	10.3.6 选择测试仪器仪表·····	212
9.3.3 单稳态触发器整形·····	188	10.4 数字电路仿真·····	212
小结·····	188	10.4.1 数字电路仿真的基本要求·····	212
习题·····	189	10.4.2 组合逻辑电路的仿真·····	217
实验 9 555 集成定时器的应用·····	190	10.4.3 时序逻辑电路的仿真·····	222
第 10 章 数字电路的软件仿真——		10.5 仿真模式设置·····	225
Multisim 10 的应用* ·····	195	10.5.1 仿真启动与停止·····	225
10.1 概述·····	195	10.5.2 仿真模式与仿真参数设置·····	225
10.1.1 功能与特点·····	195	10.6 模拟电路仿真·····	230
10.1.2 运行环境要求·····	196	10.6.1 电路仿真实例·····	230
10.1.3 汉化方法·····	196	10.6.2 软件仿真样例·····	231
10.2 基本操作方法·····	197	小结·····	234
10.2.1 工作界面构成·····	197	习题·····	234
10.2.2 软件菜单·····	197	实验 10 采用 Multisim 10 设计一个	
10.3 实验电路生成方法·····	207	数码显示器电子表·····	239
10.3.1 选择元器件·····	207	附录 部分集成电路的封装说明 ·····	241
10.3.2 设置电源、信号源、接地端·····	209	参考文献 ·····	247

第1章

数制和码制

学习目标

- 了解模拟信号和数字信号的处理特点
- 了解常用的数制及其之间的转换
- 了解常用的码制
- 了解文字符号在计算机中的表示

1.1 模拟信号和数字信号的处理特点

物理量可分为模拟和数字两大类。模拟量是指可在一定的范围内连续变化,或者在一定范围内有无穷多个取值可能的量。自然界绝大多数物理量都是连续变化的模拟量,如温度、湿度、语音等。我们可用电信号对模拟量进行模拟,并用电子技术进行处理。例如,用图形、声音信号采集电路将图像和声音等连续变化的信号,转化成用有线、无线通道传输的调频、调幅的电压信号;或者将接收到的调制信号经专用电路解调、放大后,还原为图像、声音信号进行播放。另一种物理量是数字量,例如人数、物品的个数等,其特点是取值是离散的,只能是一个范围内的某些特定值。数字量是离散的信号,且分别与相应的数字编码对应。

用电子技术处理数字信号时,最好的方法就是用电压幅值的高(代表数字1)和低(代表数字0)所构成的二进制数字来表示,这就是数字信号。数字信号在时间和幅值上都是离散的。

大多数模拟信号在处理过程中要求尽量保持信号的形状不变。由于处理过程中不可避免地会受到元器件的限制和环境的影响而出现畸变和干扰,要达到较高的保真度,就要使用高质量的元器件和采取各种补偿措施,这些都将使电路的成本和制作难度增加。

数字量是在一系列离散的時刻取值,数值的大小和每次的增减都是量化单位的整数倍,即它们是一系列时间离散、数值也离散的信号。用电子技术处理数字信号时,最好的方法就是用电压幅值的高(代表数字1)和低(代表数字0)的一连串不同组合,构成不同的数字量来表示信息内容。在处理过程中只要不使幅值的高、低混淆(可以拉开高、低电平差),所携带的信息便不会丢失,因此相对而言数字设备具有极高的可靠性和稳定性。只要所使用的数字位数足够多,就能极大地提高处理精度;而用模拟方法实现时,由于系统各部分误差的累积影响,要达到同样的精度和质量,设备往往相当复杂且价格昂贵。由此可见,二进制在数字技术中具有极其重要的意义。

虽然自然界绝大多数都是模拟量,但都可利用模数转换电路将模拟量转换为数字量,然后再用数字电路来处理。由于数字技术具有的明显优势,所以现代电子产品的主体部分绝大多数都采

用数字电路。但是,无论数字技术如何发展,终将不能代替模拟技术。数字技术不能直接接受模拟信号并进行处理,也无法将处理后的数字信号直接送到外部物理世界。因此,模拟技术在电子系统中是不可缺少的。由于模拟技术难度远高于数字技术,其发展自然较慢。实际电子系统一般是模拟电路和数字电路的结合。

1.2 数制

1.2.1 十进制

十进制就是“逢十进一”的进位制。十称为该进位制的基数或底,它有0、1、2、3、4、5、6、7、8、9共10个数码,一个数用若干按一定规则排列的数码来表示。例如十进制数523.14表示5个百、2个十、3个一、1个十分之一和4个百分之一的和,可见在十进制数523.14中,每个数码都与一个固定的值相对应,它们从左向右分别为百(10^2)、十(10^1)、一(10^0)、十分之一(10^{-1})和百分之一(10^{-2})。这些固定的值称为该十进制数各位的位权(简称权),而该十进制数的值 V 等于各位数码与对应的权值乘积的总和。即

$$V = 5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 4 \times 10^{-2}$$

对于一个有 n 位整数和 m 位小数的十进制数 $d_{n-1}d_{n-2}\cdots d_1d_0.d_{-1}d_{-2}\cdots d_{-m}$ 来说,其各位数码对应的权值分别为 10^{n-1} 、 10^{n-2} 、 $\cdots$ 、 10^0 、 10^{-1} 、 $\cdots$ 、和 10^{-m} ,其值为

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

式(1-1)称为十进制数的按权展开式。

1.2.2 二进制

二进制就是权为2的进位制,其基数为2,它只有两个数码,即0和1,做加、减运算时“逢二进一,借一当二”。这样,两个二进制数的加法和减法运算如下

(进位)	1 0 1 1		(借位)	1 0 1	
被加数	1 0 1 1	(11) _D	被减数	1 0 1 0	(10) _D
加数 +	1 0 0 1	(9) _D	减数 -	0 1 0 1	(5) _D
和	1 0 1 0 0	(20) _D	差	0 1 0 1	(5) _D

在一个有 n 位整数和 m 位小数的二进制数 $b_{n-1}b_{n-2}\cdots b_1b_0b_{-1}b_{-2}\cdots b_{-m}$ 中,各位的权值 w_i 分别为 2^{n-1} 、 2^{n-2} 、 $\cdots$ 、 2^1 、 2^0 、 2^{-1} 、 2^{-2} 、 $\cdots$ 、 2^{-m} ,其按权展开式为

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

表 1-1 列出了 i 从 -10 到 +10 的二进制权值表。

表 1-1 二进制权值表

i	权 值	i	权 值
-10	1/1024	10	1024
-9	1/512	9	512
-8	1/256	8	256
-7	1/128	7	128
-6	1/64	6	64
-5	1/32	5	32
-4	1/16	4	16
-3	1/8	3	8
-2	1/4	2	4
-1	1/2	1	2
		0	1

1.2.3 数字技术中二进制的优点

在数字技术中，二进制有如下优点。

1. 电路实现方便

数字电路是用电量参数（通常为电压）表示数字的。如果采用十进制，则要用 10 个不同的电压值来表示。数字电路的硬件首先要通过测量或多级比较，才能判断输入信号属于某个电压值，代表某个数字。这将要花费较多的元器件和较长的操作、比较时间。而二进制只有 1 和 0 两个数码，只要用两个不同电压值即可代表，并且这两个电压值并非要求很精确。

在某些电路中，也可以用高和低两个级别的电流或频率来代表 1 和 0，被称之为高电平（H）和低电平（L）。

在电子线路中，能产生高、低两个电平的元器件很多。晶体管就能在其输入输出特性上明显地表现出高电平和低电平的电压传输特性。

区别电平高低的电路也很简单，如电压比较器（其逻辑符号如图 1-1（a）所示），可以用来比较两个电压的大小。设置一个介于 V_H 和 V_L 之间的阈值电平（ V_{TH} ），将它作为电压比较器的被比较电压，输出如图 1-1（b）所示传输特性。由此可见，在数字电路中使用二进制比使用十进制容易实现得多。

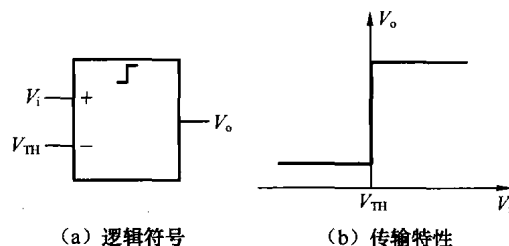


图 1-1 电压比较器

2. 设备用量少

用电子元器件表示一个数字所需的元器件数，通常为该数字的位数与该数字所使用的数制的基数的乘积，例如 3 位十进制数（最大值是 999）所需要的元器件数为 $3 \times 10 = 30$ 。如果使用二进制来表示数共需 10 位（最大值 $(999)_D = (1111100111)_B$ ，其中下标 B 和 D 分别表示二进制和十进制），则所需要的元器件数为 $10 \times 2 = 20$ ，它比使用十进制时的用量少得多。

3. 运算规则简单

以加法为例，二进制的加法规则只有 3 条： $0+0=0$ ， $0+1=1$ 和 $1+1=10$ ；而十进制的加法规则却有 55 条。运算规则的繁简也会影响到电路的繁简。结合上述设备用量比较可知，二进制较十进

制具有极大的优势。

相对于十进制而言，在数字电路中使用二进制的优势十分突出，所以现在的数字电路基本都采用二进制。

1.3 数制间的转换

1.3.1 二进制转换成十进制

二进制数转换成十进制数就是求二进制的权值和，例如依据式(1-2)求得二进制数 1011010.11 的权值和为

$$\begin{aligned} V &= 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &\quad + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 64 + 16 + 8 + 2 + 0.5 + 0.25 \\ &= 90.75 \end{aligned}$$

从上述过程可以看出，二进制数转换为十进制数的过程实际就是将二进制数中所有数码 1 对应的权值相加的过程，所以这种转换方法有时被称为按权相加法。

【例 1.1】将二进制数 10011.101 转换成十进制数。

二进制数中各个数码为 1 对应的权值自左至右分别为：16 (2⁴)、2 (2¹)、1 (2⁰)、0.5 (2⁻¹) 和 0.125 (2⁻³)，将它们相加得到：16+2+1+0.5+0.125=17.625，所以转换结果为

(10011.101)_B = (17.625)_D

1.3.2 十进制转换成二进制

根据二进制整数的按权展开式也可以由十进制数转换成二进制数，但通常使用的是另一种简单有效的方法。

对整数的转换采用除 2 取余法，即将十进制整数除以 2，将其余数作为二进制整数最低位的数码，然后将所得的商再除以 2，以同样的方法确定次低位的数码，依次进行下去，直至商为 0。具体做法如例 1.2 所示。

【例 1.2】将十进制整数 27 转换为二进制数。

用除 2 取余法进行转换的操作示意图如图 1-2 所示。

排列出转换的结果为(27)_D=(11011)_B

对小数则采用乘 2 取整法，即将十进制小数乘以 2，所得的积的整数部分作为二进制小数自小数点开始的第一个数码（小数高位），然后将积的小数部分再乘以 2，以同样方法确定二进制小数的第 2 位（小数次高位），依次进行下去，直至积的小数部分为 0 或达到所需要的精度要求。

【例 1.3】将十进制数 0.21 转换为二进制数，要求转换误差小于 2⁻⁶。

用乘 2 取整法进行转换的操作示意图如图 1-3 所示。

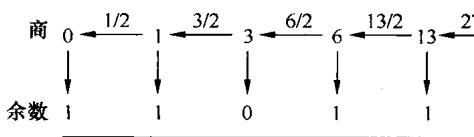


图 1-2 除 2 取余法操作示意图

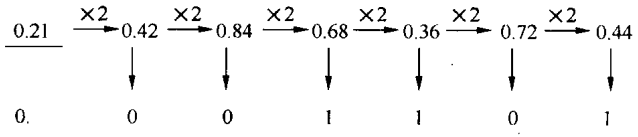


图 1-3 乘 2 取整法操作示意图

转换结果为 $(0.21)_D = (0.001101)_B$

如果要变换的十进制数既有整数部分又有小数部分，应对整数部分和小数部分分别转换，再将它们相加作为转换的结果。

为什么在转换时将小数点之前的整数除以 2，而小数点之后的小数乘以 2 呢？以 5.375 为例，小数点之前的 5 第一次被 2 除，得到商为 2 余数为 1 时，在二进制的意义上可理解为在最低位上一共进位了 2 个 2，还剩下 1 个 1。第二次将商 2 被 2 除再次得到商为 1，余数为 0 时，可理解为在此低位上又进位了 1 个 2，剩下的是 0。此时最高位上已经是 1，转换结束，此时的二进制数最高位上的 1 相当于十进制数 4，转换的结果为二进制数 101。

小数点之后的小数 0.375 由于小于一个基本单位，为了用二进制把它表示出来，首先将它扩大一倍，即乘以 2，得到 $0.375 \times 2 = 0.75$ ，再与 1 比较仍然小于 1，所以小数点后的最高位为 0。再次将 0.75 乘以 2，得到 $0.75 \times 2 = 1.5$ ，此时小数点后的次高位应该为 1。将 0.5 再次乘以 2 得 1，所以小数点后的再次一位应该为 1。转换的结果为二进制数 0.011。

1.3.3 其他数制的转换

二进制表示同一数字所需的位数多，书写和输入都不方便。因此，在书写和输入时，常常采用另外的两种数制，即八进制和十六进制，这两种数制与二进制之间的转换十分简便。下面就分别介绍这两种数制。

1. 八进制

八进制是“逢八进一”的进位制，它有 0~7 共 8 个数码，八进制数中第 i 位的位权为 8^i ，例如，八进制数 $(52.3)_8$ 的十进制值 V 为

$$\begin{aligned} V &= 5 \times 8^1 + 2 \times 8^0 + 3 \times 8^{-1} \\ &= (42.375)_D \end{aligned}$$

观察二进制数的组成可发现，一个二进制整数从右向左第 1 位、第 4 位、第 7 位、第 10 位……的权分别为 1、8、64、512…即 8^0 、 8^1 、 8^2 和 8^3 …如将二进制整数从右向左每 3 位看做一个单元，这 3 位二进制数 000~111 恰好对应八进制数码 0~7，如表 1-2 所示。

表 1-2 八进制数码表

二 进 制 数	八 进 制 数
000	0
001	1
010	2
011	3
100	4
101	5
110	6
111	7

由二进制整数转化为八进制整数的方法是整数部分以小数点为界，从右向左每 3 位作为一个单元，并用对应的八进制数字表示；而小数部分则以小数点为界，从左向右每 3 位作为一个单元，并用对应的八进制数字表示。例如二进制数 100110010001.101011 按上述方法变换得到的八进制数为 4621.53，变换的具体过程如下：

$$(100,110,010,001.101,011)_B$$
$$(4\quad 6\quad 2\quad 1.\quad 5\quad 3)_O$$

【例 1.4】将八进制数 243.15 转换成二进制数。
因为八进制数 2、4、3、1、5 对应的二进制数为 010、100、011、001 和 101，所以转换结果为

$$(243.15)_O=(010100011.001101)_B$$

2. 十六进制

将二进制数以小数点为界，向左、向右每 4 位作为一个单元，则每相邻两个单元之间的关系为“逢十六进一”，如将每个单元用一个数字符号代表，这些数字符号便构成了一个十六进制数。由于十六进制数的每一位有 0~15 共 16 个数码，仅用阿拉伯数字符号是不够的，所以又加上 A~F 共 6 个字母，其对应关系如表 1-3 所示。

十六进制数符合十六进制的各项规则，例如“逢十六进一”、“借一当十六”等。

二进制数转换成十六进制的方法是以小数点为界，分别向左和向右每 4 位作为一个单元，并分别用相应的十六进制数码代替。

【例 1.5】将二进制数 11000101.10101 转换成十六进制数。

先将二进制数以小数点为界，向两边每 4 位划分成一个单元（注意：小数点后面只有 5 位，必须加 3 个 0 凑成两个单元）：

$$(1100,0101.1010,1000)_B$$
$$(C\quad 5.\quad A\quad 8)_H$$

转换结果为

$$(11000101.10101)_B=(C5.A8)_H$$

表 1-3 十六进制数码表

二 进 制 数	十 六 进 制 数
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	A
1011	B
1100	C
1101	D
1110	E
1111	F

以此类推，十六进制数转换为二进制数时，其方法与八进制转换为二进制数相似，即将十六进制的各位数码分别用对应的二进制数代入即可。

【例 1.6】将十六进制数 AB6.2F 转换成二进制数。

十六进制数 A、B、6、2 和 F 对应的二进制数分别为 1010、1011、0110、0010 和 1111，所以转换结果为

$$(AB6.2F)_H = (101010110110.00101111)_B$$

引入八进制和十六进制的目的是缩短书写长度。

1.4 数字电路中数的表示方法与格式

1.4.1 码的概念

在数字电路中，数是用电子元器件的输出状态来表示的。由于电路的存在先于数字，所以电路中存放一个数的元器件量（位数）是固定的，例如十进制数 9 在 8 位数字电路中，必须用 8 个电子元器件分别存放 8 个二进制数 0000 1001 表示十进制数 9。通常将参与运算的一个数（操作数）称为一个字，每个字的位数称为字长。目前使用的字长有 8 位、16 位、32 位等。每 8 位称为一个字节。

因为数在数字电路中是用固定的字长表示的，这里的字长实际上是一个固定长度的码。每个码称为一个码字，码字中的每一位（bit）称为一个码元。数字电路中的任何数据、信号都是用码表示的，数字电路处理的信息可以说除了码别无他物。

既然数在数字电路中是以码的形式出现的，我们可以用一些约定的规则来描述一个数。例如按二进制数的规则，即令码从低到高每位对应一个权值，且此权值按二进制的顺序排列，则可称为二进制码（自然二进制数码被称为 8421 码）。二进制码是最常用的码。此外，还有一种称为循环码的常用码，其各位数码之间没有权值，是一种无权码。如果这种码的相邻两个码字之间只有一个码元不同，则称为安全码。表 1-4 列出的是一种 4 位循环码。

表 1-4 4 位循环码

十 进 制 数	循 环 码
0	0000
1	0001
2	0011
3	0010
4	0110
5	0111
6	0101
7	0100
8	1100
9	1101
10	1111
11	1110
12	1010
13	1011
14	1001
15	1000

1.4.2 十进制数的表示

数字电路中所使用的都是二进制元器件，十进制数在数字电路中也只能以二进制码的形式出现，这就是 BCD 码，其确切的含义是用二进制码表示的十进制数。

十进制的数码一共有 10 个，至少要用 4 位二进制码表示。表 1-5 列出了在数字系统中经常用到的 BCD 码。在这些 BCD 码中，最常用的是自然加权 BCD 码，它是用 4 位二进制码的前 10 个作为十进制数 0~9 的代码，由于该码的每个码元对应一个固定的权值，属于有权码，其各位码元的权由高到低分别为 8、4、2、1，故又称 8421BCD 码。

表 1-5 常用 BCD 码

十 进 制 数	8421BCD 码
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
5	0 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1

用 BCD 码表示十进制数时，只要将十进制数的每个数码分别用对应的 BCD 码组代入即可。例如，用 BCD 码表示十进制数 365，只要将十进制数 3、6、5 对应的 BCD 码 0011、0110、0101 代入，即可得到转换结果 001101100101。

值得关注的是，用 BCD 码表示的数，形式上与普通二进制码没有区别，但是它的各个位之间并不是全部都存在“逢二进一”的进位关系，因而不能简单地按二进制运算法则进行运算。

1.5 文字符号表示方法

数字系统除了能处理数字之外，还能处理文字、符号和其他信息，这些信息也是用 1 和 0 组成的代码来表示的，他们被统称为数据，数字信息称为数值数据，文字、符号等称为非数值数据。表示非数值数据的码通常有一定的处理标准，目前使用最广泛的是西文字符集及其编码 ASCII（美国标准信息交换码）。

表 1-6 所示为 ASCII 编码表，它由 7 位二进制码元组成。表中与每一格的横坐标与纵坐标对应的 7 位码就代表了这一格所表示的内容。例如，横坐标 101 与纵坐标 0101 合成 7 位码 1010101，它所代表的字符为字母“U”。

表 1-6 ASCII 编码表

$b_6 b_5 b_4$ $b_3 b_2 b_1 b_0$	000	001	010	011	100	101	110	111
0000	NUL	DLE	SP	0	@	P	,	p
0001	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q
0010	STX	DC2	"	2	B	R	b	r
0011	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s
0100	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t
0101	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
0110	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
0111	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
1000	BS	CAN	(	8	H	X	h	x

续表

$b_3b_2b_1b_0$	$b_6b_5b_4$	000	001	010	011	100	101	110	111
1001		HT	EM	)	9	I	Y	i	y
1010		LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
1011		VT	ESC	+	;	K	[	k	{
1100		FF	FS	,	<	L	\	l	
1101		CR	GS	-	=	M	]	m	}
1110		SO	RS	•	>	N	^	n	~
1111		SI	US	/	?	O	—	o	DEL

小结

数字电路中任何信息都是用 0 和 1 两个数码表示的，因为只有两个状态的元器件是最容易实现的。数字电路中的数采用二进制数表示，文字、汉字也用各自的二进制代码来表示。数字电路中码的格式是固定的，例如用 ASCII（7 位，加上奇偶校验位共 8 位）表示的英文字母和运算符号。

码和数是不同的概念，应该加以区分。BCD 码是人机对话时使用的一种特殊的码，它看上去像二进制数，但代表的却是十进制数，是一种用二进制形式表示的十进制数。

习题

1.1 将下列二进制数化成十进制数。

(1) 10110.111

(2) 11001.011

(3) 10001.101

(4) 11110.101

1.2 将下列十进制数化成二进制数（误差 $\epsilon < 2^{-6}$ ）。

(1) 77.54

(2) 61.375

(3) 24.6

(4) 172.38

1.3 将下列二进制数化成八进制数。

(1) 1100011

(2) 10110110

(3) 101101

(4) 1101.0011

1.4 将下列八进制数化成二进制数。

(1) 271

(2) 0.71

(3) 35.26

(4) 14.65

1.5 将下列二进制数化成十六进制数。

(1) 110010

(2) 0.101101

(3) 11010.11101

(4) 101110.001011。

1.6 将下列十六进制数化成二进制数。

(1) AE

(2) 0.6A

(3) 32.A6

(4) 5.C3

1.7 用 8421BCD 码表示下列各数。

(1) 248

(2) 359

- (3) 84 (4) 501
- 1.8 用4位循环码表示下列各十进制数。
- (1) 25 (2) 93
- (3) 128 (4) 307
- 1.9 求下列二进制码对应的循环码。
- (1) 1011 (2) 0101
- (3) 11011110 (4) 10110110
- 1.10 求下列循环码对应的二进制码。
- (1) 100 (2) 0010
- (3) 01101010 (4) 11001001
- 1.11 写出下列ASCII对应的文字和符号。
- (1) 0100001 (2) 1100100
- (3) 0011011 (4) 0111101
- 1.12 写出下列文字或符号对应的ASCII。
- (1) R (2) DEL
- (3) ; (4) &

实验1 Multisim 10 软件的使用(1)

一、实验目的

- ① 了解 Multisim 10 软件的工作界面、菜单。
- ② 了解元器件数据库(Database)、组别(Group)、系列(Family)与元器件关系。
- ③ 掌握选择、查询元器件的方法。
- ④ 掌握菜单的几项基本设置方法。

二、实验仪器与设备

已安装 Multisim 10 软件的计算机。

三、实验原理

Multisim 10 软件的应用在第10章中有比较详细的介绍,在准备本项实验以前,必须将第10章的内容仔细地阅读一遍。

Multisim 10 是一个综合的电子技术虚拟仿真平台,它可以对模拟、数字及综合的电子线路进行仿真,对从事电类专业技术人员而言是一个非常好的辅助工具。利用这个仿真平台,不仅可以验证所学的电子技术专业课程的各种线路,还可以完成对应用电子线路开发、故障诊断等多项任务。

四、实验内容与步骤

1. 打开 Multisim 10 软件

一般来说,经常使用的软件都会在桌面上留有快捷图标,如图1-4所示,双击“Multisim”图标,即可运行程序;如果桌面上没有快捷图标,则需要从程序管理器中搜寻,如图1-5所示。