中等职业学校电工电子专业教学用书

数字技术基础

主　编　杨秀英

华东师范大学出版社

华东师范大学出版社

SHUZIJISHUJICHU

数字技术基础

中等职业学校电工电子专业教学用书

主　编　杨秀英
副主编　何富荣　邢建榕
　　　　吴菊华
主　审　沈建国　冯满顺

图书在版编目(CIP)数据

数字技术基础/杨秀英主编. —上海:华东师范大学出版社,2007.12
中等职业学校教学用书
ISBN 978-7-5617-5732-1

Ⅰ.数… Ⅱ.杨… Ⅲ.数字技术—专业学校—教学参考资料 Ⅳ.TN911.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第194877号

数字技术基础

中等职业学校电工电子专业教学用书

主　　编　杨秀英
责任编辑　翁春敏
编辑助理　蒋　雯
特约编辑　赵金土　孙　婷
装帧设计　蒋　克

出　　版　华东师范大学出版社
社　　址　上海市中山北路3663号
　　　　　邮编200062

营销策划　上海龙智文化咨询有限公司
电　　话　021-62228271　62228272
传　　真　021-62228343

印 刷 者　宜兴市德胜印刷有限公司
开　　本　787×1092　16开
印　　张　9.75
字　　数　205千字
版　　次　2008年4月第1版
印　　次　2008年4月第1次
书　　号　ISBN 978-7-5617-5732-1/TP·024
定　　价　15.60元
出 版 人　朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题,请与华东师范大学出版社中等职业教育分社联系
电话:021-62228271　62228272)

出版说明

CHUBANSHUOMING

本书是中等职业学校电工电子专业的教学用书。

本书是一本专业基础课教材，对基础知识的介绍删繁就简，思路清晰、重点突出，并辅以大量图表及例题，帮助学生加深对概念、原理的理解；实践性强，便于开展课堂实验活动，帮助学生提高解决实际问题的能力。

具体栏目设计如下：

内容简介：在每章开篇之处列出主要内容，提纲挈领。

本章小结：列出每一章的重要知识点。

本章习题：针对每一章所阐述的知识点所设计的配套习题。

为了方便教师的教学活动，本书还配套有：

《数字技术基础·教师手册》：含有每章习题参考答案和试验指导。

华东师范大学出版社

中等职业教育分社

2008 年 3 月

前　　言

QIANYAN

在当今的信息化时代，数字化是人类进入信息化的必要条件，而数字化的基础则是数字技术。

《数字技术基础》是中职学校工科电子类专业的一本专业基础课教材，它适用于通信工程、计算机、自动化控制、机电一体化等技术涉及的各类专业。熟练地掌握数字技术，对学生学习后续的专业课程，以及毕业后从事相关技术工作都能起到举足轻重的作用。本书是作者根据多年的教学经验，结合当前学生的具体情况，并参考国内外优秀教材编写而成的。概念清楚、重点突出、删繁就简、图文并茂是本书的特点。

数字技术基础是一门实践性很强的课程，通过实验实践过程能促使学生加深对概念、原理的理解，能提高学生科学应用知识的能力。作者建议在教学过程中开设一定数量的实验，使学生提高解决实际问题的能力。

本教材对每个章节都配有一定数量的习题，可供学生自行练习，以加强对所学内容的理解与掌握。另外，我们将编写和出版教师手册，内含有关的习题解答和实验指导。

全书共分为九个章节：

第一章至第三章是数字技术的基础知识。内容包括：模拟量和数字量、数制、基本逻辑函数和逻辑代数。主要介绍了数字技术的预备知识和数字集成电路、各种数制的表示和转换、二进制数的运算和几种常用代码、基本逻辑运算和化简、布尔代数的基本公式及法则。

第四章和第五章介绍组合逻辑电路的分析、设计和应用。在组合逻辑电路分析和设计中，列举了大量例题供学生参考。在组合逻辑电路的应用中，介绍了几种常用的组合逻辑电路：基本运算电路、编码器、译码器、数据选择器和数据分配器，以使学生加深对组合逻辑电路的认识。

第六章通过逻辑图、逻辑符号、功能描述、状态表和波形图等来介绍具有记忆功能的电子器件——触发器。内容包括：R-S 触发器、D 触发器、边沿触发 J-K 触发器、主从式 J-K

触发器和 T 触发器。

第七章介绍了具有记忆功能的时序电路。内容包括:时序电路概述、寄存器、同步计数器和异步计数器。其中,通过例子分析时序电路的功能,并且根据要求设计时序电路。

第八章介绍脉冲波形的产生与变换。内容包括:单稳态触发器、施密特触发器、多谐振荡器和 555 定时器。介绍了它们的具体电路、工作原理以及应用。

第九章介绍 A/D 与 D/A 的转换。内容包括:A/D 与 D/A 转换的基本原理和常见电路。对这部分内容的介绍只是最基本的,全面的学习可参见有关资料。

第一、二、三、九章由邢建榕编写,第四、五章由吴菊华编写,第六、七、八章由何富荣编写。全书由杨秀英担任主编并定稿,由何富荣协助定稿。

由于编者水平有限,恳请广大读者对书中难免存在的缺点和错误批评指正。

最后,感谢两位主审专家,沈建国老师和冯满顺老师对本书提出的宝贵意见。

编者

2008 年 3 月

目　录

MULU

第一章 数字技术基础

【内容简介】

本章主要介绍:模拟量和数字量的基本概念,数制的表示方法、互换和运算,原码、反码、补码以及 BCD 码和美国标准信息交换码的概念,二进制变量和真值表的相关知识,以及数字集成电路的技术参数及相关种类。

第一节　模拟量和数字量

模拟量是随时间连续变化的物理量，数字量是不随时间连续变化的量。

信号或者信息可以用模拟量或者数字量的方式表示。例如水银温度计就是一个模拟式温度测量仪，水银柱的高度与温度成正比，可以对于任意小的温度变化实现水银柱高度的相应变化。模拟式测量仪还有用于电流、电压、转速、速度等测量的指针式测量仪表。这里，无论是水银柱的高低，还是指针的偏转，都是连续变化的。

与水银温度计不同的是，莫尔斯电码是以信息流的数字处理为基础的，它通过点和线的组合来表示字母、数字和特殊符号。可以简单地表示点或者线、接通或者关断、有电压或者没有电压的情况。由此可知，数字量是一种非连续性变化的物理量。

在坐标平面上，模拟量表现为一条连续的曲线，数字量表现为分段曲线。连续量可以等同模拟量，但数字量不可以等同离散量，因为数字量只有 0，1 两个状态量，而离散量可以有无数个量，如：1，5，67 等。离散量包括数字量。

第二节　数制

日常生活中最常用的是十进制。然而，十进制并非是表示数量的唯一方法。在日常生活中还有其他一些数制被使用着，如二十四小时为一天（二十四进制），十二个月为一年（十二进制）。而在计算机内部处理信息的时候，则用电子元件的两种状态（导通和截止）来表示数量，故使用的是二进制，因为二进制只有两种状态，即“0”和“1”。

一、数制的表示法

1. 十进制数的表示法

(1) 进位计数制

对数量进行表述称为计数。按进位原则进行计数的法则称为进位计数制。对于任意一种进位计数制，都可以用按位权展开的表示式来表示一个数，即

$$N = a_{n-1}r^{n-1} + \cdots + a_1 r^1 + a_0 r^0 + a_{-1}r^{-1} + \cdots + a_{-m}r^{-m}$$

式中：r 称为基数，表示该进位计数制有 r 个数符，每当计数到 r 时，需向高位进位，即“逢 r 进 1”，因此，亦称为“r 进制”；n、m 均为正整数，分别代表数 N 的整数和小数位的位数；a_i $(i = n-1, n-2, \cdots, 1, 0, -1, \cdots, -m)$ 为系数，它可在从 0 到 $r-1$ 这 r 个数当中任意取值；r^i $(i = n-1, n-2, \cdots, 1, 0, -1, \cdots, -m)$ 称为权。

例 1-1　将十进制数 437.56 写成按位权展开的表示式。

解：$437.56 = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 6 \times 10^{-2}$

(2) 十进制的基数与系数

十进制的基数：$r=10$

十进制的系数：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

(3) 十进制数的表示法

例如十进制数 235，可用 235、$235_{(10)}$、$(235)_{10}$ 或 235D 表示，其中 D 表示"Decimal"，即十进制。若数字后没有标注，均可视为十进制。

2. 二进制数的表示法

十进制虽然是生活中最常用的计数方式，但如果将其应用在电子电路中，则必须用十种不同的电位来分别表示 0, 1, …, 9 十个数字，这将使电路变得十分复杂。而使用二进制，便可用高、低两种不同的电位来表示 0 和 1 两个数字。所以在电子电路中通常使用二进制。

(1) 二进制的基数与系数

二进制的基数：$r=2$

二进制的系数：0, 1

(2) 二进制的位和字节

每一个二进制数字为一个位(Bit)，八个位称为一个字节(Byte)，即 1 Byte = 8 Bits。

(3) 二进制数的表示法

例如二进制数 1100 可用 $1100_{(2)}$、$(1100)_2$ 或 1100B 来表示，其中 B 表示"Binary"，即二进制。

例 1-2 将二进制数 1010.01 写成按位权展开的表示式。

解：$1010.01\text{B} = 1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+0\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}$

3. 八进制数的表示法

采用二进制计数虽然能使电子电路变得简单，但却给人们带来了如书写、读数等诸多的不便。而八进制和十进制比较相似，且和二进制也有很直接的转换关系，因此它在人、机(计算机)交流中被广泛使用。

(1) 八进制的基数与系数

八进制的基数：$r=8$

八进制的系数：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

(2) 八进制数的表示法

例如八进制数 261 可用 $261_{(8)}$、$(261)_8$ 或 261O 来表示，其中 O 表示"Octal"，即八进制。

例 1-3 将八进制数 427.607 写成按位权展开的表示式。

解：$427.607\text{O} = 4\times8^2+2\times8^1+7\times8^0+6\times8^{-1}+0\times8^{-2}+7\times8^{-3}$

4. 十六进制数的表示法

除了八进制外，十六进制也具备和十进制相似、与二进制转换方便等特性，因此在人、机交流中也经常被使用到。

(1) 十六进制的基数与系数

十六进制的基数：$r=16$

十六进制的系数：0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F

其中 A、B、C、D、E、F 分别代表十进制的 10、11、12、13、14、15。

(2) 十六进制数的表示法

例如十六进制数 3C0 可用 $3C0_{(16)}$、$(3C0)_{16}$ 或 3C0H 来表示，其中 H 表示"Hexadecimal"，即十

六进制。

例 1-4 将十六进制数 4F9.0D 写成按位权展开的表示式。

解：$4F9.0DH = 4 \times 16^{2} + 15 \times 16^{1} + 9 \times 16^{0} + 0 \times 16^{-1} + 13 \times 16^{-2}$

二、数制的互换

1. 二进制和十进制互换

(1) 二进制转换为十进制

二进制转换成十进制时比较简单，只需将二进制数按位权展开，并求和即可。

例 1-5 求 11001.01B 的十进制表示。

解：
$$\begin{aligned} 11001.01B &= 1 \times 2^{4} + 1 \times 2^{3} + 0 \times 2^{2} + 0 \times 2^{1} + 1 \times 2^{0} + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} \\ &= 25.25D \end{aligned}$$

(2) 十进制转换为二进制

十进制转换成二进制时，整数和小数部分有所不同，下面分别加以叙述。

整数部分的转换可通过"除 2 取余"法进行。将待转换的十进制数除以 2，余数即为对应的二进制数的 a_0，然后对商重复上述过程直至商为零，便可得到二进制数的 $a_1, a_2, \cdots, a_{n-1}$。

例 1-6 求 43D 的二进制表示。

解：除以 2	商 Q_i	余数 a_i
43	21	$a_0 = 1$
21	10	$a_1 = 1$
10	5	$a_2 = 0$
5	2	$a_3 = 1$
2	1	$a_4 = 0$
1	0	$a_5 = 1$

1 0 1 0 1 1

即 $43D = 101011B$

小数部分的转换可通过"乘 2 取整"法进行。将待转换的十进制小数部分乘以 2，积的整数部分即为对应的二进制数的 a_{-1}，然后对积的小数部分重复上述过程，直至积的小数部分为零，便可依次求得二进制数的 $a_{-2}, a_{-3}, \cdots, a_{-m}$。在转换过程中，若十进制的小数部分恒不为零，则可按转换精度决定二进制小数的位数。

例 1-7 求 0.423D 的二进制表示。

解：乘以 2	积的小数部分 F_i	积的整数部分 a_i
0.423	0.846	$a_{-1} = 0$
0.846	0.692	$a_{-2} = 1$
0.692	0.384	$a_{-3} = 1$
0.384	0.768	$a_{-4} = 0$
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

即 $0.423D=0.0110\cdots B$

当要求转换精度为 2^{-2} 时，可取：$0.423D = 0.01B$

对于既有整数部分、又有小数部分的十进制数，只需将其分别进行转换，然后合到一起即可。

2. 二进制和十六进制互换

(1) 二进制转换为十六进制

整数部分：从整数的最低位开始，每四位二进制数转换成一位十六进制数，若最高位不满四位时，可在左面添"0"构成四位。

小数部分：从小数的最高位开始，每四位二进制数转换成一位十六进制数，若最末位不满四位时，也可在右面补"0"构成四位。

例 1-8 求 110111001.001111B 的十六进制表示。

解：0001 1011 1001.0011 1100

$$\begin{array}{ccccc} 0001 & 1011 & 1001. & 0011 & 1100 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 1 & B & 9 & 3 & C \end{array}$$

即 $110111001.001111B=1B9.3CH$

(2) 十六进制转换为二进制

欲将一个十六进制数转换成二进制数时，只要每位十六进制数用四位二进制数表示即可。

例 1-9 求 5F7.4AH 的二进制表示。

解：5F7.4AH=10111110111.01001010B

3. 十进制和十六进制互换

(1) 十六进制转换为十进制

十六进制转换成十进制时比较简单，只需将十六进制数按位权展开，并求和即可。

例 1-10 求 A2F.3DH 的十进制表示。

解：$A2F.3BH = 10 \times 16^2 + 2 \times 16^1 + 15 \times 16^0 + 3 \times 16^{-1} + 11 \times 16^{-2}$

$=2607.23046875D$

(2) 十进制转换为十六进制

十进制转换成十六进制时，要将整数和小数分别来处理。

整数部分的转换可通过"除 16 取余"法进行。将待转换的十进制数除以 16，余数即为对应的十六进制数 a_0，然后对商重复上述过程直至商为零，便可得到十六进制数的 a_1，a_2，$\cdots$，a_{n-1}。

例 1-11 求 2538D 的十六进制表示。

解：除以 16	商 Q_i	余数 a_i
2538	158	$a_0 = 10$
158	9	$a_1 = 14$
9	0	$a_2 = 9$

9 E A

即 $2538D = 9EAH$

小数部分的转换可通过"乘 16 取整"法进行。将待转换的十进制数的小数部分乘以 16，积的整数部分即为对应的十六进制数的 a_{-1}，然后对积的小数部分重复上述过程，直至积的

小数部分为零，便可依次求得十六进制数的 a_{-2}，a_{-3}，…，a_{-m}。在转换过程中，若十进制的小数部分恒不为零，则可按转换精度决定十六进制小数的位数。

例 1-12 求 0.48254D 的十六进制表示。

解：乘以 16	积的小数部分 F_i	积的整数部分 a_i
0.48254	0.72064	$a_{-1}=7$
0.72064	0.53024	$a_{-2}=11$
0.53024	0.48384	$a_{-3}=8$
0.48384	0.74144	$a_{-4}=7$
⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮

即
$$0.48254\text{D}=0.7\text{B}87\text{H}$$

其他数制间的转换，可参照上述转换方法，在此不再赘述。十进制、二进制、八进制、十六进制数的对照表如表 1-1 所示。

表 1-1 数制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	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

三、二进制数的运算

十进制数的运算大家已经很熟悉了。而对于其他数制数的运算，限于篇幅，此处仅对二进制数的运算加以介绍。

1. 二进制数的加法

一位二进制数的加法规则为

$$0+0=0$$
$$0+1=1+0=1$$
$$1+1=0(\text{进位}1)$$

例 1-13 试求 10011B＋11011B 的值。

解：

被加数	1 0 0 1 1
加数	1 1 0 1 1
进位	＋1 　 1 1
	1 0 1 1 1 0

即
$$10011B+10011B=101110B$$

2. 二进制数的减法

一位二进制数的减法规则为

$$0-0=0$$
$$1-0=1$$
$$1-1=0$$
$$0-1=1(\text{有借位})$$

例 1-14 试求 11001010B－110011B 的值。

解：

被减数	1 1 0 0 1 0 1 0
减数	1 1 0 0 1 1
借位	－ 1 1 　 1 1 1
	1 0 0 1 0 1 1 1

即
$$11001010B-110011B=1001010111B$$

3. 二进制数的乘法

一位二进制数的乘法规则为

$$0\times0=0$$
$$1\times0=0\times1=0$$
$$1\times1=1$$

两个二进制数相乘，可参照十进制相乘的方法进行。

例 1-15 试求 1011B×1010B 的值。

解：

被乘数	1 0 1 1
乘　数	× 1 0 1 0
	0 0 0 0
	1 0 1 1
	0 0 0 0
中间结果	＋1 0 1 1
积	1 1 0 1 1 1 0

数字技术基础

即 $$1011B \times 1010B = 1101110B$$

从例 1-15 中不难看出，当乘数某一位为 0 时，则对应的中间结果也为 0；当乘数某一位为 1 时，则对应的中间结果为被乘数。故二进制数的乘法运算可看成对被乘数进行移位（左移）后的加法运算，而被乘数左移的位数则取决于乘数中 1 的位置。

4. 二进制数的除法

二进制数的除法可参照十进制数除法运算的基本规则，具体方法见例 1-16。

例 1-16 试求 1101101B÷101B 的值。

解：

```
                 10101    商
      除数 101)1101101    被除数
               101
               ----
                 111
                 101
                 ---
                  1001
                   101
                   ---
                   100    余数
```

即 $$1101101B \div 101B = 10101B \qquad 余数为\ 100B$$

第三节 其他数字码

一、原码、反码和补码

在计算机中处理的信息都以二进制数的形式呈现，对数的正、负也必须通过高、低电平来识别。直接用“+”号和“-”号来表示其正、负的二进制数，称为该数的真值。另外，为了简化计算机的硬件结构，减法也在加法器中完成，而原码、反码和补码正是用来解决计算机内部的相关运算问题的。

1. 原码

二进制数的最高位称符号位，用来表示该数的正、负，“0”表示正数，“1”表示负数。用这种方法表示的数码称为原码。

例 1-17 8 位二进制数的真值分别为 $X_1 = 1001$ 和 $X_2 = -1001$，写出它们的原码。

解：
$$[X_1]_{原} = 00001001$$
$$[X_2]_{原} = 10001001$$

要注意的是，原码中“0”有两种形式：

$$[+00000000]_{原} = 00000000$$
$$[-00000000]_{原} = 10000000$$

2. 反码

当真值为正数时，反码和原码的数值相同；真值为负数时，符号位不变，仍为"1"，把原码中的"0"写成"1"、"1"写成"0"即构成反码。如果对一个反码再取反，则可得到原码本身。

和原码一样，反码中"0"也有两种形式：

$$[+00000000]_{反} = 00000000$$
$$[-00000000]_{反} = 11111111$$

反码运算一般不常使用，但其取反过程常用作取补的中间过程。

例 1-18 8 位二进制数的真值分别为 $X_1 = 11000$ 和 $X_2 = -11000$，写出它们的反码。

解：
$$[X_1]_{反} = [X_1]_{原} = 00011000$$
$$[X_2]_{反} = 11100111$$

3. 补码

当真值为正数时，补码和原码及反码的数值相同；当真值为负数时，在反码的基础之上再加 1 后，即构成补码。和反码一样，对一个补码再取补，则回到原码本身。

在补码中，"0"只有一种形式：

$$[+00000000]_{原} = [-00000000]_{原} = 00000000$$

例 1-19 8 位二进制数的真值分别为 $X_1 = 11100$ 和 $X_2 = -11100$，写出它们的补码形式。

解：
$$[X_1]_{补} = [X_1]_{反} = [X_1]_{原} = 00011100$$
$$[X_2]_{补} = [X_2]_{反} + 1 = 11100011 + 1 = 11100100$$

4. 补码的运算

在计算机中，当有两个数要进行加、减运算时，首先判断两个数的符号位。若符号位相同，则将两个数相加，再冠以对应的正、负符号即可；若符号位不同，则将两个数取补后再做加法，具体步骤如下：

① 对两个数取补。

② 将两个数的补码相加：在相加时，可把符号位上表示正负的"0"和"1"也看成数，一同进行加法运算（符号位运算时产生的进位扔掉）。

③ 判断补码加法结果的符号位：由于补码相加后的结果仍为补码，故要对其结果的正负进行判断。若符号位为"0"，则表示结果为正值；若符号位为"1"，则表示结果为负值。

例 1-20 已知：$X_1 = 00001001$，$X_2 = -00000110$，试用补码来计算 $Y = X_1 + X_2$ 的值。

解：对两个数取补：$[X_1]_{补} = [X_1]_{原} = 00001001$

$$[X_2]_{补} = [X_2]_{反} + 1 = 11111001 + 1 = 11111010$$

将两个数的补码相加：$[X_1]_{补} + [X_2]_{补} = 00001001 + 11111010$

$$= [Y]_{补} = 00000011$$

判断补码加法结果的符号位：符号位等于"0"，表示结果 Y 为正数。

即
$$[Y]_{原} = [Y]_{补} = 00000011$$
$$Y = 00000011$$