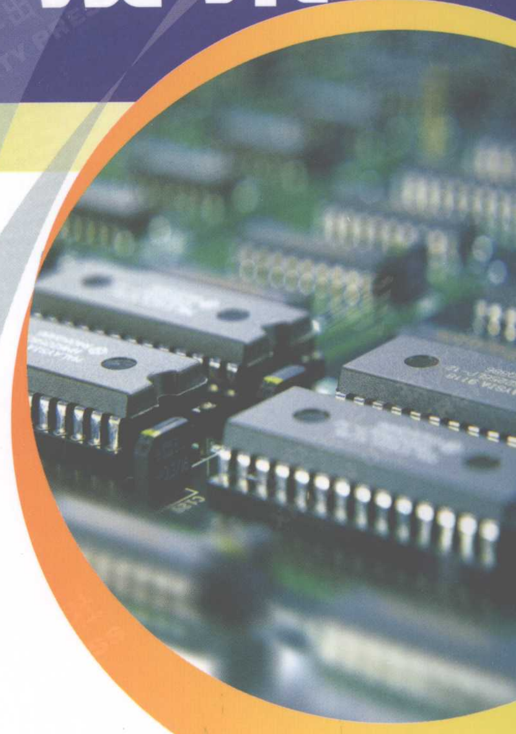
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数字电子技术

（第三版）



江晓安　董秀峰　杨颂华　编著

西安电子科技大学出版社
http://www.xduph.com

数字电子技术

普通高等教育"十一五"国家级规划教材

数字电子技术

(第三版)

江晓安　董秀峰　杨颂华　编著

西安电子科技大学出版社

2008

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材之一，是在本书第二版的基础上修订而成的。

本书共有9章，内容包括数制与代码、基本逻辑运算及集成逻辑门、布尔代数与逻辑函数化简、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数/模与模/数转换、半导体存储器和可编程逻辑器件等。每章均有一定量的例题和练习题。

本书配有由西安电子科技大学出版社出版的《数字电子技术学习指导与题解》，可供读者学习时使用。

编者集40多年的教学经验，综合有关专业的大纲要求编写了本教材。本教材适应面较宽，适用于高等工科院校有关专业本科生、高职高专学生及自考生，也可供电子技术领域的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术/江晓安，董秀峰，杨颂华编著. —3版.
—西安：西安电子科技大学出版社，2008.6
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-5606-2018-3

Ⅰ.数…　Ⅱ.①江…　②董…　③杨…　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(2008)第041531号

策　　划　毛红兵　李惠萍
责任编辑　李惠萍
出版发行　西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)
电　　话　(029)88242885　88201467　　邮　编　710071
http://www.xduph.com　　E-mail：xdupfxb001@163.com
经　　销　新华书店
印刷单位　陕西华沐印刷科技有限责任公司
版　　次　2008年6月第3版　2008年6月第25次印刷
开　　本　787毫米×1092毫米　1/16　印张16
字　　数　374千字
印　　数　194 001～198 000册
定　　价　23.00元
ISBN 978-7-5606-2018-3/TN·0417
XDUP　2310003—25

前　言

“电子技术”课程(含“模拟电子技术”和“数字电子技术”)是电子信息类专业重要的专业基础课，它不仅是相关后续课程的基础，同时也是今后工作中十分重要的技能基础。因此，学好“电子技术”课程，对于电子信息类专业的学生而言是十分重要的。

由于“电子技术”课程是电子类专业的必修课，不管本科或高职，对该课程的基本要求是一致的，只是在深度和广度上有些不同，因此编写本书时总的思路是：精选内容，讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法。

本书在具体内容上突出了集成电路的原理和应用，如集成组合逻辑电路、集成计数器、集成移位寄存器的应用等，而较大地削弱了用门电路实现组合电路、用触发器实现时序电路的内容。

在具体教学实施过程中，建议同时开设EDA(电子设计自动化)仿真系统课程，使学生掌握如何在计算机上实现相关的数字系统，了解新的数字系统的设计方法，这样有利于该课程的学习和掌握。

为便于读者学习，笔者同时还编写了《数字电子技术学习指导书》(已由西安电子科技大学出版社出版)，配合本教材使用。

该书的此次修订版被列选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。修订中笔者对相关内容进行了调整和整合，责任编辑对书稿进行了重新编辑加工，修正了错误，规范了文字及其它细节。参加此次修订的有西安电子科技大学教授兼西安欧亚学院教授江晓安、杨颂华和西安电子科技大学副教授董秀峰。

本书适合作为高等学校相关专业本科、高职学生“数字电子技术”课程的教材，也可供自学考试、夜大、函大和远程教学相关专业的学生选用。

由于编者水平有限，书中一定存在错误和不妥之处，欢迎读者指正。

编　者

2008年3月

第二版前言

本书是在《数字电子技术》(第一版)(江晓安等编著，1993 年由西安电子科技大学出版社出版)的基础上，经过总结、提高、修改而成的。书中保留了《数字电子技术》(第一版)的特征，并作了如下调整：

——将原第六、七章合为一章，即现在的第六章“时序逻辑电路”；

——增加了可编程逻辑器件的内容。考虑到课时数的限制，这一章主要介绍可编程逻辑器件的发展及相关器件的原理。对于如何应用这些器件，本书未作详细介绍，读者如若需要，可参阅其它参考资料。为适应科学技术的发展，建议另开一门“可编程器件原理和应用”课。

全书共 9 章，第一、二、八章由董秀峰负责修订，其它章由江晓安负责修订，杨颂华参加了第九章的修订，最后由江晓安统稿与定稿。

为满足不同专业的需求，有的内容加了 * 号，供相关专业选用。

由于“数字电路”课程是一门主干专业基础课，故本科、专科对本门课程的基本要求是一致的，只是在深度和广度上有所区别，教师在讲授时应掌握好尺度。

本书既可作为高等学校电子信息类专业本科生“数字电子技术”课程的教材，也可作为高职高专学校相关专业的教材，同时还可用作自考、夜大、函大相应专业的教材。2002 年本书被陕西省高等教育自学考试委员会办公室指定为陕西省自学考试电子技术、医用电器和通信技术三个专业的“数字电路”课程的使用教材。

本书再版得到了陕西省高等教育自学考试委员会办公室王浩、王巨勇同志和西安电子科技大学出版社领导的大力支持；编辑刘巧艳进行了认真、负责的工作，在此对他们表示感谢。

对于书中存在的缺点和错误，敬希读者批评指正。

编　者

2002 年 4 月

第一版前言

电子技术分为模拟电子技术和数字电子技术。数字电子技术是当前发展最快的学科之一。就逻辑器件而言，已经从20世纪40年代的电子管、20世纪50年代的晶体管、20世纪60年代的小规模集成电路(SSI)，发展到现在的中规模集成电路(MSI)、大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)。近几年又出现了可编程逻辑器件，为数字电路设计提供了更加完善、方便的器件。相应地，数字电路的设计过程和方法也在不断的演变和发展。由于半导体技术的迅速发展，微型计算机的广泛应用，使得数字电子技术在现代科学技术领域中占有很重要的地位，在各个领域中得到了广泛的应用。

本书共分11章。第一章讲解了数字电路中所用的数制和编码；第二章讲述了TTL和MOS门电路；第三章是全书的学习基础，讲述了数字技术的数学基础——布尔代数及逻辑函数的化简；第四章讲述组合逻辑电路的分析与设计，重点介绍常用组合逻辑部件(MSI)的原理和应用；第五章为触发器，它是学习时序电路的基础；第六章为同步时序电路的分析与设计；第七章介绍常用的时序逻辑部件，主要讲述了计数器和移位寄存器的设计、分析及集成计数器、移位寄存器的应用；第八章讲述脉冲产生电路和定时电路，主要讲述555定时电路及其应用；第九章为数/模、模/数转换电路；第十章介绍了大规模集成电路ROM和PLA在数字电路中的应用，第十一章介绍了可编程逻辑器件(PLD)。

本书在内容选取和安排上，注重突出基本概念、基本理论和基本方法，并为读者提供独立分析和设计逻辑电路的工具，主要讲述分析和设计的方法，不追求系统性和完整性。例如对于逻辑函数的标准式，只讲述常用的最小项标准式，而最大项的概念就不引入；对于时序电路，我们只讲述同步时序电路的分析与设计，而异步时序电路的分析与设计就不介绍。为了适应科学技术的发展，本书除了讲述传统的逻辑技术外，还用较多的篇幅讲述了MSI和LSI在数字技术中的应用。

为便于读者自学，着重讲清思路，交待方法，并附有一定量的例题和练习题，文字上力求叙述流畅，说理清楚。同时，我们还编写了《数字电子技术学习指导与题解》，可配合本书使用。

本书适合作为高等工科院校有关专业本科生教材，也可作为专科生“数字电子技术”课程的教材，还适用于自学考试、夜大、函大、职大的学生选用。

本书的出版得到了西安电子科技大学王和平同志、吕建伟同志、付长进同志的支持和帮助，在此表示谢意。

由于编者水平有限，时间又较紧，书中一定有不少错误和不妥之处，欢迎读者指正。

编　者

1993年3月

目　录

第一章　数制与代码

第二章　基本逻辑运算及集成逻辑门

第三章 布尔代数与逻辑函数化简

第四章 组合逻辑电路

第五章 触 发 器

第六章 时序逻辑电路

第七章 脉冲波形的产生与变换

第八章 数/模与模/数转换

第九章 半导体存储器和可编程逻辑器件

第一章 数制与代码

各种数字设备，只能对二进制数或二进制代码进行运算和处理，而人们熟悉的十进制数不能被数字设备直接接受。另外，经数字设备运算、处理的结果仍为二进制形式，不便于人们识别。为更好地实现人机对话，我们应当掌握各种数制、代码的特点及相互之间的转换规律。本章讲述常用数制和常用代码及相互之间的转换方法。

1.1 进位计数制

1.1.1 进位计数制的基本概念

进位计数制也叫位置计数制，其计数方法是把数划分为不同的数位，当某一数位累计到一定数量之后，该位又从零开始，同时向高位进位。在这种计数制中，同一个数码在不同的数位上所表示的数值是不同的。进位计数制可以用少量的数码表示较大的数，因而被广泛采用。下面先给出进位计数制的两个概念：进位基数和数位的权值。

进位基数：在一个数位上，规定使用的数码符号的个数叫该进位计数制的进位基数或进位模数，记作 R。例如十进制，每个数位规定使用的数码符号为 0，1，2，…，9，共 10 个，故其进位基数 $R=10$。

数位的权值：某个数位上数码为 1 时所表征的数值，称为该数位的权值，简称“权”。各个数位的权值均可表示成 R^i 的形式，其中 R 是进位基数，i 是各数位的序号。按如下方法确定：整数部分，以小数点为起点，自右向左依次为 0，1，2，…，$n-1$；小数部分，以小数点为起点，自左向右依次为 -1，-2，…，$-m$。n 是整数部分的位数，m 是小数部分的位数。

某个数位上的数码 a_i 所表示的数值等于数码 a_i 与该位的权值 R^i 的乘积。所以，R 进制的数

$$(N)_R = a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_2a_1a_0.a_{-1}a_{-2}\cdots a_{-m}$$

又可以写成如下多项式的形式：

$$\begin{aligned}(N)_R &= a_{n-1}R^{n-1} + a_{n-2}R^{n-2} + \cdots + a_2R^2 + a_1R^1 + a_0R^0 \\ &\quad + a_{-1}R^{-1} + a_{-2}R^{-2} + \cdots + a_{-m}R^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_iR^i\end{aligned}$$

1.1.2 常用进位计数制

1. 十进制

在十进制中，每个数位规定使用的数码为0，1，2，…，9，共10个，故其进位基数R为10。其计数规则是“逢十进一”。各位的权值为10^i，i是各数位的序号。

十进制数用下标“D”表示，也可省略。例如：

$$(368.258)_D = 3\times10^2 + 6\times10^1 + 8\times10^0 + 2\times10^{-1} + 5\times10^{-2} + 8\times10^{-3}$$

十进制数人们最熟悉，但机器实现起来比较困难。

2. 二进制

在二进制中，每个数位规定使用的数码为0，1，共2个数码，故其进位基数R为2。其计数规则是“逢二进一”。各位的权值为2^i，i是各数位的序号。

二进制数用下标“B”表示。例如：

$$(1011.01)_B = 1\times2^3 + 0\times2^2 + 1\times2^1 + 1\times2^0 + 0\times2^{-1} + 1\times2^{-2}$$

二进制数由于只需两个状态，机器实现容易，因而二进制是数字系统唯一认识的代码。但二进制书写起来太长。

3. 八进制

在八进制中，每个数位上规定使用的数码为0，1，2，3，4，5，6，7，共8个，故其进位基数R为8。其计数规则为“逢八进一”。各位的权值为8^i，i是各数位的序号。

八进制数用下标“O”表示。例如：

$$(752.34)_O = 7\times8^2 + 5\times8^1 + 2\times8^0 + 3\times8^{-1} + 4\times8^{-2}$$

因为$2^3=8$，所以三位二进制数可用一位八进制数表示。

4. 十六进制

在十六进制中，每个数位上规定使用的数码符号为0，1，2，…，9，A，B，C，D，E，F，共16个，故其进位基数R为16。其计数规则是“逢十六进一”。各位的权值为16^i，i是各个数位的序号。

十六进制数用下标“H”表示，例如：

$$\begin{aligned}(BD2.3C)_H &= B\times16^2 + D\times16^1 + 2\times16^0 + 3\times16^{-1} + C\times16^{-2}\\ &= 11\times16^2 + 13\times16^1 + 2\times16^0 + 3\times16^{-1} + 12\times16^{-2}\end{aligned}$$

因为$2^4=16$，所以四位二进制数可用一位十六进制数表示。

在计算机应用系统中，二进制主要用于机器内部的数据处理，八进制和十六进制主要用于书写程序，十进制主要用于人机界面，即人们向机器输送数和机器输出最终结果。

1.2 数 制 转 换

1.2.1 非十进制数转换成十进制数

不同数制之间的转换方法有若干种。把非十进制数转换成十进制数采用按权展开相加法。具体步骤是，首先把非十进制数写成按权展开的多项式，然后按十进制数的计数规则

求其和。

[例 1]　$(2A.8)_H = (\ ?\ )_D$

解　$(2A.8)_H = 2\times16^1 + A\times16^0 + 8\times16^{-1}$

$= 32 + 10 + 0.5 = (42.5)_D$

[例 2]　$(165.2)_O = (\ ?\ )_D$

解　$(165.2)_O = 1\times8^2 + 6\times8^1 + 5\times8^0 + 2\times8^{-1}$

$= 64 + 48 + 5 + 0.25 = (117.25)_D$

[例 3]　$(10101.11)_B = (\ ?\ )_D$

解　$(10101.11)_B = 1\times2^4 + 0\times2^3 + 1\times2^2 + 0\times2^1 + 1\times2^0 + 1\times2^{-1} + 1\times2^{-2}$

$= 16 + 0 + 4 + 0 + 1 + 0.5 + 0.25 = (21.75)_D$

1.2.2 十进制数转换成其它进制数

要将既有整数部分又有小数部分的十进制数转换成其它进制数，首先要把整数部分和小数部分分别转换，再把两者的转换结果相加。具体方法介绍如下。

1. 整数转换

整数转换，采用基数连除取余法。把十进制整数 N 转换成 R 进制数的步骤如下：

(1) 将 N 除以 R，记下所得的商和余数。

(2) 将上一步所得的商再除以 R，记下所得商和余数。

(3) 重复做第(2)步，直到商为 0。

(4) 将各个余数转换成 R 进制的数码，并按照和运算过程相反的顺序把各个余数排列起来，即为 R 进制的数。

[例 4]　$(427)_D = (\ ?\ )_H$

解

		余数	
16	427		
16	26 …………	11=B	最低位
16	1 …………	10=A	
	0 …………	1=1	最高位

即　$(427)_D = (1AB)_H$

[例 5]　$(427)_D = (\ ?\ )_O$

解

		余数	
8	427		
8	53 …………	3	最低位
8	6 …………	5	
	0 …………	6	最高位

即　$(427)_D = (653)_O$

[例 6]　$(11)_D = (\ ?\ )_B$

解

		余数	
2	11		
2	5 …………	1	最低位
2	2 …………	1	
2	1 …………	0	
	0 …………	1	最高位

即　　$(11)_D=(1011)_B$

2. 纯小数转换

纯小数转换，采用基数连乘取整法。把十进制的纯小数 M 转换成 R 进制数的步骤如下：

(1) 将 M 乘以 R，记下整数部分。

(2) 将上一步乘积中的小数部分再乘以 R，记下整数部分。

(3) 重复做第(2)步，直到小数部分为 0 或者满足精度要求为止。

(4) 将各步求得的整数转换成 R 进制的数码，并按照和运算过程相同的顺序排列起来，即为所求的 R 进制数。

[例 7]　$(0.85)_D=(\ ?\ )_H$

解　$0.85\times16=13.6$ …………$13=D$　最高位

$0.6\ \ \times16=9.6$ ………… $9=9$

$0.6\ \ \times16=9.6$ ………… $9=9$

⋮　　　　⋮　最低位

即　$(0.85)_D=(0.D99\cdots)_H$

[例 8]　$(0.35)_D=(\ ?\ )_O$

解　$0.35\times8=2.8$ …………2　最高位

$0.8\ \ \times8=6.4$ …………6

$0.4\ \ \times8=3.2$ …………3

$0.2\ \ \times8=1.6$ …………1

⋮　　　　⋮　最低位

即　$(0.35)_D=(0.2631\cdots)_O$

若十进制数有整数也有小数，则整数和小数分别转换，再求其和即可。

[例 9]　$(11.375)_D=(\ ?\ )_B$

解

```
2 | 11
  2 | 5  …………1
  2 | 2…………1
  2 | 1…………0
      0…………1
```

即　$(11)_D=(1011)_B$

又　$0.375\times2=0.75$

$0.75\times2=1.5$

$0.5\times2=1.0$

即　$(0.375)_D=(0.011)_B$

故　$(11.375)_D=(1011.011)_B$

1.2.3　二进制数转换成八进制数或十六进制数

二进制数转换成八进制数(或十六进制数)时，其整数部分和小数部分可以同时进行转换。其方法是：以二进制数的小数点为起点，分别向左、向右，每三位(或四位)分一组。对

于小数部分，最低位一组不足三位(或四位)时，必须在有效位右边补 0，使其足位。然后，把每一组二进制数转换成八进制(或十六进制)数，并保持原排序。对于整数部分，最高位一组不足位时，可在有效位的左边补 0，也可不补。

[例 10]　$(1011011111.10011)_B=(\ ?\ )_O=(\ ?\ )_H$

解

$$\underbrace{1}_{1}\underbrace{011}_{3}\underbrace{011}_{3}\underbrace{111}_{7}.\underbrace{100}_{4}\underbrace{110}_{6}$$

所以　$(1011011111.10011)_B=(1337.46)_O$

$$\underbrace{10}_{2}\underbrace{1101}_{D}\underbrace{1111}_{F}.\underbrace{1001}_{9}\underbrace{1000}_{8}$$

即　$(1011011111.10011)_B=(2DF.98)_H$

1.2.4　八进制数或十六进制数转换成二进制数

八进制(或十六进制)数转换成二进制数时，只要把八进制(或十六进制)数的每一位数码分别转换成三位(或四位)的二进制数，并保持原排序即可。整数最高位一组左边的 0 及小数最低位一组右边的 0 可以省略。

[例 11]　$(36.24)_O=(\ ?\ )_B$

解　$(36.24)_O=(\underbrace{011}_{3}\underbrace{110}_{6}.\underbrace{010}_{2}\underbrace{100}_{4})_B=(11110.0101)_B$

[例 12]　$(3DB.46)_H=(\ ?\ )_B$

解　$(3DB.46)_H=(\underbrace{0011}_{3}\underbrace{1101}_{D}\underbrace{1011}_{B}.\underbrace{0100}_{4}\underbrace{0110}_{6})_B=(1111011011.0100011)_B$

1.3　常 用 代 码

对若干个不同的数据或信息，按一定的规律分别给其指定一个代表符号的过程叫编码。这些代表给定数据和信息的符号叫代码，简称码。在数字系统中，所有的代码都是用若干位二进制码元“0”和“1”的不同组合构成的。因此，这种代码习惯上称为二进制代码。这里“二进制”并无“进位”的含义，只是强调采用的是二进制数的数码符号而已。n 位的二进制码元，共有 2^n 种不同的组合，可以用其代表 2^n 种不同的信息。

1.3.1　二—十进制码(BCD 码)

二一十进制码是用二进制码元来表示十进制数符“0～9”的代码，简称 BCD 码(Binary Coded Decimal 的缩写)。

用二进制码元来表示“0～9”这 10 个数符，必须用四位二进制码元来表示，而四位二进制码元共有 16 种组合，从中任意取出 10 种组合来表示“0～9”的编码方案约有 2.9×10^{10} 种。几种常用的 BCD 码如表 1 - 1 所示。若某种代码的每一位都有固定的“权值”，则称这种代码为有权代码；否则，叫无权代码。从 16 种组合中任意取出 10 种组合，组成 BCD 码，

余下的 6 种代码称为非法码，不允许出现。否则将产生错误。

表 1－1　几种常用的 BCD 码

十进制数	8421BCD 码	5421BCD 码	2421BCD 码	余 3BCD 码	BCD Gray 码
0	0000	0000	0000	0011	0000
1	0001	0001	0001	0100	0001
2	0010	0010	0010	0101	0011
3	0011	0011	0011	0110	0010
4	0100	0100	0100	0111	0110
5	0101	1000	1011	1000	0111
6	0110	1001	1100	1001	0101
7	0111	1010	1101	1010	0100
8	1000	1011	1110	1011	1100
9	1001	1100	1111	1100	1000

1. 8421BCD 码

8421BCD 码是有权码，各位的权值分别为 8，4，2，1。虽然 8421BCD 码的权值与四位自然二进制码的权值相同，但二者是两种不同的代码。8421BCD 码只是取用了四位自然二进制代码的前 10 种组合。

2. 余 3BCD 码

余 3BCD 码是 8421BCD 码的每个码组加 0011 形成的代码。其中的 0 和 9，1 和 8，2 和 7，3 和 6，4 和 5，各对码组相加均为 1111，具有这种特性的代码称为自补代码。

余 3BCD 码各位无固定权值，故属于无权码。

3. 2421BCD 码

2421BCD 码的各位权值分别为 2，4，2，1。2421BCD 码是有权码，但存在两种加权方法，如数码 6，既可以用 1100 表示，也可以用 0110 表示。表 1－1 中采用的 2421BCD 编码方案码也是一种自补代码。

用 BCD 码表示十进制数时，只要把十进制数的每一位数码，分别用 BCD 码取代即可。反之，若要知道 BCD 码代表的十进制数，只要把 BCD 码以小数点为起点向左、向右每四位分一组，再写出每一组代码代表的十进制数，并保持原排序即可。

［例 13］　$(902.45)_D=(\ ?\ )_{8421BCD}$

解　$$(902.45)_D=(100100000010.01000101)_{8421BCD}$$

［例 14］　$(10000010.1001)_{5421BCD}=(\ ?\ )_D$

解　$$(\underbrace{1000}_{5}\underbrace{0010}_{2}.\underbrace{1001}_{6})_{5421BCD}=(52.6)_D$$

若把一种 BCD 码转换成另一种 BCD 码，应先求出某种 BCD 码代表的十进制数，再将该十进制数转换成另一种 BCD 码。

［例 15］　$(01001000.1011)_{余3BCD}=(\ ?\ )_{2421BCD}$

解　$(01001000.1011)_{余3BCD}=(15.8)_D=(00011011.1110)_{2421BCD}$

若将任意进制数用 BCD 码表示，应先将其转换成十进制数，再将该十进制数用 BCD 码表示。

［例 16］　$(73.4)_8=(\ ?\ )_{8421BCD}$