高等学校培养应用型人才教材——计算机系列

数字电子技术与逻辑设计

华容茂　主编
罗慧芳　陶洪　副主编
陈寿铨　主审

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委制定的电路与电子技术课程教学基本要求，由多所以培养应用型人才为主要目的的高等学校里从事计算机类、电子类和电气类课程教学的老师编写。主要内容包括：数字电子基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路、数模与模数转换、半导体存储器等。本书强调实用，注重理论指导下的可操作性和实际问题的解决。

本书可作为高等院校计算机、电子、通信及自动化专业的技术基础课教材，也可供有关技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术与逻辑设计 / 华容茂等编著. —北京：中国电力出版社，2002

高等学校培养应用型人才教材——计算机系列

ISBN 7-5083-1388-7

I. 数… II. 华… III. ①数字电路－电子技术－高等学校－教材 ②数字逻辑－逻辑设计－高等学校－教材 IV. ①TN79 ②TP302.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 099004 号

中国电力出版社出版、发行

（北京三里河路 6 号 100044 http://www.infopower.com.cn）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 2 月第一版 2003 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 396 千字

定价 **22.00** 元

高等学校培养应用型人才教材——计算机系列

编 委 会

序　言

进入21世纪，世界高等教育已从精英教育走向了大众教育。我国也适应这一潮流，将高等教育逐步推向大众化。培养应用型人才已成为国家培养国际人才的重要组成部分，且得到了社会各界的广泛支持。于是一大批有规模、有实力、规范化、以培养应用型人才为己任的高等学校得到了长足发展。这类高校办学的一个显著的特点是按照新时代需求和当地的需要来培养学生，他们重视产学研相结合，并紧密地结合当地经济状况，把为当地培养应用型人才作为学校办学的主攻方向。

这类学校的教学特点是：在教授“理论与技术”时，更注重技术方法的教学。在教授“理论与实践”时，更注重理论指导下的可操作性，更注意实际问题的解决。因此，这些学生善于解决生产中的实际问题，受到地方企事业单位的普遍欢迎。

为满足这类高校的教学要求，达到培养应用型人才的目的，根据教育部有关重点建设项目的要求和相关教学大纲，我们组织了多年在这类高校中从教，并具有丰富工程经验的资深教授、高级工程师、教师来编写这套教材。

在这套教材的编写中，我们提倡“实用、适用、先进”的编写原则和“通俗、精练、可操作”的编写风格，以解决多年来在教材中存在的过深、过高且偏离实际的问题。

实用——本套教材重点讲述本行业中最广泛应用的知识、方法和技能。使学生学习后能胜任岗位工作，切实符合当地经济建设的需要和社会需要。

适用——本套教材是以工程技术为主的教材，所以它适用于培养应用型人才的所有高校（包括本科、专科、技术学院、高职等），既符合此类学生的培养目标，又便于教师因材施教。

先进——本套教材所选的内容是当今的新技术、新方法。使学生在掌握经典的技术和方法之后，可用教材中的新技术、新方法去解决工程中的技术难题，为学生毕业后直接进入生产第一线打下坚实的基础。

通俗——本套教材语言流畅、深入浅出、容易读懂。尽量避开艰深的理论和长篇的数学推导，尽量以实例来说明问题，在应用实例中掌握理论，使学生轻松掌握所学知识技能，达到事半功倍的效果。

精练——本套教材选材精练。详细而不冗长，简略得当，对泛泛而谈的内容将一带而过，对学生必须掌握的新技术、新方法详细讲，讲透、讲到位，为教师创造良好的教学空间和结合当地情况调整教学内容的余地。

可操作——本套教材所有的实例均是容易操作的，且是有实际意义的案例。把这些案例连接起来，就是一个应用工程的实例。通过举一反三的应用，使学生能够在更高层次上创造性地应用教材中的新思想、新技术、新方法去解决问题。

本套教材面向培养应用型人才的高等学校，同时亦可作为社会培训高级技术人才的教材和需要加深某些方面知识技能的人员的自学教材。

编 委 会

前　言

本书是根据国家教委制定的《电路与电子技术》课程教学基本要求，由十余所以培养应用型人才为主要目的的高等学校从事计算机类、电子类和电气类课程的老师编写的，全书分 3 册：《电路与模拟电子技术》、《数字电子技术与逻辑设计》、《电工、电子技术实习与课程设计》。

编写《数字电子技术与逻辑设计》时，我们注意了以下几点：

1．本书的内容以计算机专业的教学要求为主，适当涵盖相近电类专业：电子类、电气类、机电一体化类的教学要求。

2．在介绍基础知识、基本理论和基本技能训练的同时，注意融入新知识、新器件。

3．全书以中小规模集成电路为主，以外特性为主，而且小规模集成电路的介绍主要针对培养学生分析电路原理的思路与方法，中规模集成电路、集成块引脚及功能的应用在多处进行介绍以突出应用。

本书由华容茂主编，罗慧芳、陶洪副主编。第 1、7 章由陈海峰编写，第 2、8 章由罗慧芳编写，第 3、4 章由杨春平编写，第 5、6 章由徐维编写，第 9、10 章由陶洪编写。全书由华容茂、罗慧芳统稿，在统稿过程中作了很多重要修改与补充，最后由华容茂定稿，陈寿铨审阅了全部书稿，并提出了宝贵的意见，华婷、叶剑秋、王俊为本书的录入作了大

目　　录

第 1 章　数字电路基础

本章介绍了有关数字电路的基本概念。首先扼要介绍了数字信号、数字电路的特点、分类、应用，然后讲述了计数体制及不同体制的转换方法，最后介绍了 BCD 码、格雷（GRAY）码、校验码。

1.1　数字电路概述

1.1.1　什么是数字电路

电子电路中的信号可分为两类：一类是指时间上和数值上都连续变化的信号，称为模拟信号，例如正弦交流信号，直流信号，电视的图像、伴音信号以及模拟温度、压力等物理量变化的信号等。用来生产、传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。另一类是指时间上和数值上都不连续变化的离散信号，称为数字信号，例如汽车司机在运行速度表上的读数，工厂产品数量的统计等信号。用来生产、传输、处理数字信号的电路称为数字电路。

数字电路的工作信号是不连续变化的数字信号，所以在数字电路中工作的半导体管多数工作在开关状态，即工作时在饱和区和截止区之间转换，而放大区只是其过渡状态。

数字电路重点研究之一是电路的输入信号和输出信号之间的逻辑关系，所以在这种电路中就不能采用模拟电路的分析方法，而是采用逻辑代数来作为分析工具。数字电路的研究往往可分为两类：一类是对已有电路逻辑功能的分析，叫逻辑分析；另一种是按一定逻辑功能要求设计出符合功能条件的电路，叫逻辑设计。在数字电路中，常用来表示电路功能的方法有逻辑符号图、真值表、逻辑表达式、波形图等。

1.1.2　数字电路的分类

数字电路按其组成结构不同分为分立元件和集成电路两类。其中，集成电路按集成度大小分为小规模集成电路（SSI 集成度为 1~10 门/片）、中规模集成电路（MSI 集成度为 10~100 门/片）、大规模集成电路（LSI 集成度为 100~1000 门/片）和超大规模集成电路（VLSI 集成度为大于 1000 门/片）。

按电路所用器件不同分为双极型和单极型电路。其中双极型电路有 DTL、TTL、ECL 等；单极型电路有 JFEI、NMOS、PMOS、CMOS 等。

按电路逻辑功能的特点分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

1.1.3 数字电路的应用

数字电路的应用很广泛，早期主要应用在下列几方面：

（1）数控：各种生产过程的自动数字控制。如温度、压力的自动控制，数控机床的控制等。

（2）数字化测量：早期一直使用的依赖模拟电子技术的指针式测量仪表，现在已由数字式仪表所代替，如数字频率计、数字万用表、数字秤、数字钟等。

（3）电子数字计算机：20 世纪 30 年代前后，人们开始将电子技术应用于计算工具，开发电子计算机，但最早用真空管，即用饱和—截止两状态的数字电路形式，从 20 世纪 50 年代开始，数字电子技术逐渐进入计算机以致完全占领了电子计算机领域。当今人们所熟悉的电子计算机，几乎全都是利用数字电路的计算机了。

（4）数字通信：进入 21 世纪以后，“数字化”、“信息”、“数字信息”这些名词已家喻户晓，它标志着数字电子技术还将在更深层次上进入生产、生活的各个领域。

1.2 数　　制

1.2.1 常用数制

在日常生活中，人们用数字量表示事物的多少时，仅用一位数码往往不够用，所以经常需要用进位计数的方法组成多位数码使用。我们把多位数码中每一位的构成方法以及从低位向高位的进位规则称为数制。

在数字电路中常用的计数进位制除了十进制以外，还有二进制、八进制、十六进制。

1．十进制

十进制是人们在日常生活和工作中常用的进位计数制。组成十进制数的符号有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 共十个符号，我们称这些符号为数码。在十进制中，每一位可以是 0~9 十个数码中的一个，最高数码为 9，超过 9 就必须用多位数来表示，计数的基数为 10，又称权为 10。其中低位和相邻高位之间的进位关系是“逢十进一”。

十进制数中，数码的位置不同，所表示的值就不相同。如：

$$345.67 = 3\times10^2 + 4\times10^1 + 5\times10^0 + 6\times10^{-1} + 7\times10^{-2}$$

一般地说，任意十进制数可表示为：

$$(N)_{10} = \sum_{i=n-1}^{-m} k_i \times 10^i = k_{n-1}\times10^{n-1} + k_{n-2}\times10^{n-2} + \cdots + k_1\times10^1 + k_0\times10^0 + k_{-1}\times10^{-1} + \cdots + k_{-m}\times10^{-m} \tag{1.1}$$

式（1.1）称为十进制数 $(N)_{10}$ 的权的展开式。k_i 是第 i 位的系数，它可以是 0~9 这十个数码中的任何一个。

i 表示该数码所处的位置，位置不同，它所表示的值不同；n 和 m 为正整数，n 表示该十进制数整数部分位数，m 表示小数部分的位数。

2. 二进制数

在数字电路中应用最广的计数体制是二进制。它只有 0 和 1 两个数码，计数基数为 2。低位和相邻高位间的进位关系是“逢二进一”，故称为二进制。任何一个二进制数的权展开式为：

$$(N)_2=\sum_{i=n-1}^{-m}k_i\times 2^i=k_{n-1}\times 2^{n-1}+k_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+k_1\times 2^1$$

$$+k_0\times 2^0+k_{-1}\times 2^{-1}+\cdots+k_{-m}\times 2^{-m} \qquad (1.2)$$

式（1.2）中 k_i 取 0 或 1 两个数码，2^i 为第 i 位的权值，i 包含从 n−1 到 0 的所有正整数和从-1 到-m 的所有负整数。

如：$(101.11)_2=1\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0+1\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}=(5.75)_{10}$

3. 八进制数和十六进制数

八进制数的进位基数为 8，它有 0~7 八个数码，各位数的权值是 8 的幂。低位数和相邻高位数之间的进位关系是“逢八进一”。任何一个八进位均可展开为：

$$(N)_8=\sum k_i\times 8^i \qquad (1.3)$$

式（1.3）中 K_i 取 0~7 中的某一数码，8^i 为第 i 位的权值。

如：$(234)_8=2\times 8^2+3\times 8^1+4\times 8^0=128+24+4=(156)_{10}$

同理，十六进制的进位基数为 16。它有 0~9、A、B、C、D、E、F 十六个数码（十进位数的 10~15 分别用 A~F 六个英文字母表示）。低位数与相邻高位数之间的进位关系是“逢十六进一”。任何一个十六进位数可表示为：

$$(N)_{16}=\sum k_i\times 16^i \qquad (1.4)$$

式（1.4）中 K_i 取 0~F 中的某一数码，16^i 为第 i 位的权值。

如：$(2A.7F)_{16}=2\times 16^1+10\times 16^0+7\times 16^{-1}+15\times 16^{-2}=(42.4960937)_{10}$

现在计算机中普遍采用 8 位、16 位、32 位二进制并行运算，而二进制数中的数位较多，不易读写，因而常用八进制和十六进制符号书写程序。表 1-1 为几种常用计数体制的对照表。

表 1-1　几种常用计数制对照表

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

续表

十进制	二进制	八进制	十六进制
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F

1.2.2 数制的转换

1. 2^n 进制数转换成十进制数

二进制、八进制、十六进制数相应的一般表达式，将它们按位权展开后，求各位数值之和，即可得到对应的十进制数。

【例 1.1】

$$\begin{aligned}(1011.01)_2 &= (1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+1\times 2^0+0\times 2^{-1}+1\times 2^{-2})_{10}\\ &= (8+2+1+0.25)_{10}\\ &= (11.25)_{10}\\ (25.46)_8 &= (2\times 8^1+5\times 8^0+4\times 8^{-1}+6\times 8^{-2})_{10}\\ &= (16+5+0.5+0.09375)_{10}\\ &= (21.59375)_{10}\\ (B2)_{16} &= (11\times 16^1+2\times 16^0)_{10}\\ &= (178)_{10}\end{aligned}$$

2. 十进制数转换成 2^n 进制数

在这类转换中，要注意先将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换，然后将结果合并为要求的数制形式。

（1）整数部分的转换：采用除基取余法。所谓除基取余法即用目的数制的基数去除十进制整数，第一次所得的余数为目的数的最低位，把得到的商再除以该基数，所得的余数为目的数的次低位，依次类推，直至商为 0 时，所得的余数为目的数的最高位。

【例 1.2】把 $(28)_{10}$ 转换成二进制数、八进制数、十六进制数。

$2\vert\underline{28}$	0 低位	$8\vert\underline{28}$	4	$16\vert\underline{28}$	12
$2\vert\underline{14}$	0	$8\vert\underline{3}$	3	$16\vert\underline{1}$	1
$2\vert\underline{7}$	1 ↑	0		0	
$2\vert\underline{3}$	1				
$2\vert\underline{1}$	1 高位				
0					

$(28)_{10}=(11100)_2$ $(28)_{10}=(34)_8$ $(28)_{10}=(1C)_{16}$

（2）小数部分的转换：采用乘基取整法，即用该小数去乘目的数制的基数，第一次乘得结果的整数部分为目的数的最高位（小数部分的最高位），将乘得结果的小数部分再乘基数，所得结果的整数部分作为目的数的第二位，依次类推，直至小数部分为 0 或达到要求精度为止。

【例 1.3】把$(0.765)_{10}$转换成二进制数、八进制数、十六进制数均精确到小数后四位。

$0.765\times2=1.530$	1	$0.765\times8=6.12$	6	$0.765\times16=12.24$	C
$0.530\times2=1.06$	1	$0.12\times8=0.96$	0	$0.24\times16=3.84$	3
$0.06\times2=0.12$	0	$0.96\times8=7.68$	7	$0.84\times16=13.44$	D
$0.12\times2=0.24$	0	$0.68\times8=5.44$	5	$0.44\times16=7.04$	7
$0.24\times2=0.48$	0	$0.44\times8=3.52$	3	$0.04\times16=0.64$	0

$$(0.765)_{10}=(0.1100)_2 \quad (0.765)_{10}=(0.6075)_8 \quad (0.765)_{10}=(0.C3D7)_{16}$$

在将十进制小数转换成二进制小数时，一般保留 4 位小数，第 5 位小数则采取“零舍一入”的原则。由此可知，十进制小数有时不能用二进制小数精确地表示出来，这是只能根据精度要求，求到一定的位数，近似地表示。在将十进制小数转换成八进制小数时，若保留 4 位小数则第 5 位小数采取“三舍四入”，在将十进制小数转换成十六进制小数时，若保留 4 位小数则第 5 位小数采取“七舍八入”。

3. 2^n 进制数之间的转换

（1）二进制数与八进制数之间的转换：因为八进制数的基数为$8=2^3$，所以 3 位二进制数构成 1 位八进制数。若将二进制数转换成八进制数，整数部分只要从低位到高位将每 3 位二进制数分成一组并代之以等值的八进制数（最高一组不足 3 位的前面补足 0），小数部分只要从高位到低位同理转换，即可得到对应的八进制数。

【例 1.4】试将二进制数$(1010011100.101110111)_2$转换成八进制数。

$$\begin{array}{cccccccc} 001 & 010 & 011 & 100 & . & 101 & 110 & 111 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & & 5 & 6 & 7 \end{array}$$

$$(1010011100.101110111)_2=(1234.567)_8$$

将一个八进制数转换成二进制数时，只要写出每位数码所对应的二进制数，依次排好即可。

【例 1.5】试将八进制数$(4321.56)_8$转换成二进制数。

$$\begin{array}{ccccccc} 4 & 3 & 2 & 1 & . & 5 & 6 \\ 100 & 011 & 010 & 001 & & 101 & 110 \end{array}$$

$$(4321.56)_8=(100011010001.101110)_2$$

（2）二进制数与十六进制数之间的转换：十六进制数的基数$16=2^4$，所以 4 位二进制数对应 1 位十六进制数。按照上述的转换步骤，只要将二进制数按 4 位分组，即可实现二进制数与十六进制数之间的转换。

【例 1.6】试将二进制数$(10001011100.01101101)_2$转换成十六进制数。

$$\begin{array}{cccccc} 0100 & 0101 & 1100 & . & 0110 & 1101 \\ 4 & 5 & C & & 6 & D \end{array}$$

$$(10001011100.01101101)_2=(45C.6D)_{16}$$

1.2.3　二进制数的计算

加法运算　$0+0=0$　$1+0=1$　$1+1=10$

乘法运算　$0\times0=0$　$1\times0=0$　$1\times1=1$

减法，除法则是加法和乘法的逆运算。

【例 1.7】$(1101)_2+(101)_2=?$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ +\ 101 \\ \hline 10010 \end{array}$$

$$(1101)_2+(101)_2=(10010)_2$$

【例 1.8】$(110.11)_2+(101.1)_2=?$

$$\begin{array}{r} 110.1 \\ +\ 101.01 \\ \hline 1100.01 \end{array}$$

$$(110.11)_2+(101.1)_2=(1100.01)_2$$

【例 1.9】$(11001)_2-(1111)_2=?$

$$\begin{array}{r} 11001 \\ -\ 1111 \\ \hline 1010 \end{array}$$

$$(11001)_2-(1111)_2=(1010)_2$$

【例 1.10】$(1011)_2\times(11.01)_2=?$

$$\begin{array}{r} 10\ 11 \\ \times\ 11.01 \\ \hline 1011 \\ 1011 \\ 1011 \\ \hline 100011.11 \end{array}$$

$$(1011)_2\times(11.01)_2=(100011.11)_2$$

【例 1.11】$(101111001)_2\div(1111)_2=?$

$$\begin{array}{r} 11001 \\ 1111\overline{)101111001} \\ 1111 \\ \hline 10001 \\ 1111 \\ \hline 10001 \\ 1111 \\ \hline 10 \end{array}$$

$(101111001)_2 \div (1111)_2 = (11001)_2 \cdots$ 余$(10)_2$

1.3 码 制

1.3.1 BCD 码

数码不仅可以表示数量的大小，也可以表示不同的事物。当表示事物时它们没有表示数量的含义，只表示不同事物的代号而已。这时这些数码称为代码。在数字系统中，由 0 和 1 组成的二进制数码不仅可以表示数值的大小，还可以表示特定的信息。用 4 位二进制数组成一组代码来表示 0~9 十个数字，这种代码称为二-十进制代码(Binary Coded Decimal)，简称 BCD 码。表 1-2 给出了三种常用的 BCD 码。

表 1-2 常用的 BCD 码

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

1．8421 码

8421 码是 BCD 代码中最常用的一种代码。该码共有 4 位，其位权值从高位到低位分别为 8、4、2、1，故称 8421 码。每个代码的各位数值之和就是它表示的十进制数，它属于有权码。8421 码与十进制数之间的关系是 4 位二进制代码表示 1 位十进制。

如：$(6)_{10}=(0110)_{8421}$ $(78)_{10}=(01111000)_{8421}$

2．2421 码

2421 码也是一种有权码，该码从高位到低位的权值分别为 2、4、2、1，也是 4 位二进制代码表示 1 位十进制数。该码中 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 互为反码，即两码对应位取值相反。

3．余 3 码

余 3 码的编码规则与 8421 码不同，如果把每一个余 3 码看作二进制数，则它的数值要比它所表示的十进制数码多 3，故而将这种代码称为余 3 码。在余 3 码中，0 和 9、1 和 8、

2 和 7、3 和 6、4 和 5 互为反码。余 3 码不能由各位二进制数的权值来决定某代码的十进制数，属于无权码。

1.3.2 格雷（Gray）码

格雷码是一种无权码，其特点是任意两个相邻的码之间只有一位数码不同。另外由于首、尾代码和以中间为对称的两个代码之间也仅一位数码不同，故通常又叫格雷循环码或反射码。用格雷码计数时，每次状态更新仅有一位代码发生变化，这样就减少了出错的可能性。表 1-3 为 4 位格雷码的编码表。

格雷码可以由自然二进制码转换而来。转换的方法是：从最低位开始相邻两位二进制数码相加，但不进位，结果作为格雷码的最低位，依次类推，直到最高位加完，格雷码的最高位与二进制码的最高位相同例如$(9)_{10}=(1001)_2=(1101)_G$

表 1-3　4 位格雷码的编码表

十进制数	格雷码	十进制数	格雷码
0	0000	8	1100
1	0001	9	1101
2	0011	10	1111
3	0010	11	1110
4	0110	12	1010
5	0111	13	1011
6	0101	14	1001
7	0100	15	1000

1.3.3 校验码

在数字系统中采用大量的二进制数码组表示各种不同的特定的信息。当数码位数较多时较难反映出该数码组是否出错，因此希望有出错概率较少，或较易发现出错的码制，校验码就是具有这种特点的码制。

奇偶校验码是将 1 位二进制代码，配置到被传送的每一组二进制代码中，并使配置后的每一组代码中“1”的个数为奇数或偶数，如表 1-4 所示为带奇偶校验位的 8421 码。

表 1-4　带奇偶校验位的 8421 码

0	00001	00000
1	00010	00011
2	00100	00101
3	00111	00110
4	01000	01001
5	01011	01010