SHUZI DIANLU YU XITONG SHEJI XUEXI ZHIDAO

数字电路与系统设计

学习指导

黄丽亚　杨恒新　编著

北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

数字电路与系统设计学习指导

黄丽亚　杨恒新　编著

北京邮电大学出版社
·北京·

内容简介

本书是张顺兴主编的《数字电路与系统设计》的配套辅导书。本书旨在使读者掌握本课程的重要内容，学会解题方法，并提高数字电路与系统的设计能力。

本书的章节与原材料一一对应，每章内容包括内容提要、典型例题解析和教材习题解答3个部分。内容提要着重概括该章的基本概念和知识点；典型例题解析列举了经典的和有一定难度的习题，例题中有一部分是历年考研传真试题，每道例题都进行了详尽地分析，着重分析解题方法，阐明解题思路；教材习题解答对《数字电路与系统设计》教材中习题进行了详细的分析与解答。

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与系统设计学习指导/黄丽亚，杨恒新编著.—北京：北京邮电大学出版社，2006
ISBN 7-5635-1206-3

Ⅰ.数… Ⅱ.①黄…②杨… Ⅲ.数字集成电路—系统设计—高等学校—教学参考资料
Ⅳ.TN431.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第005235号

书　　名：数字电路与系统设计学习指导
编　　著：黄丽亚　杨恒新
责任编辑：李欣一
出 版 者：北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路10号)
邮编：100876　电话：010-62282185　010-62283578(FAX)
电子信箱：publish @ bupt.edu.cn
经　　销：各地新华书店
印　　刷：北京通州皇家印刷厂
印　　数：1—3 000册
开　　本：787 mm×1 092 mm
印　　张：17.5
字　　数：412千字
版　　次：2006年3月第1版　2006年3月第1次印刷

ISBN 7-5635-1206-3/TN·431　　定　价：25.00元

前　言

为了适应教学改革的需要，我们编写了本书，供学习“数字电路与系统设计”课程的大学本科学生、有志于考研复习相关课程的考生以及广大自学者使用和参考。

张顺兴主编的《数字电路与系统设计》在2001年就已出版(原名《数字电路与系统》)，5年来不断跟踪数字电路的发展方向，日臻完善，在高等院校中广泛使用，受到广大师生的好评。该教材于2004年重新编写，在保留原书内容详实、概念清楚、语言流畅优点的基础上，进一步完善并增加了PLD、VHDL和数字系统设计的相关内容，能更好地适应数字电子技术的发展趋势。

为了使广大读者更好地理解课程内容，快速把握重点知识体系，《数字电路与系统设计学习指导》一书，对该门课程的重点知识内容进行了提炼总结。本书每章分3节：内容提要、典型例题解析和教材习题解答。内容提要着重概括该章的基本概念和知识点；典型例题解析列举了经典的和有一定难度的习题，例题中有一部分是历年考研全真试题，每道例题都进行了详尽地分析，着重分析解题方法和阐明解题思路；教材习题解答对《数字电路与系统设计》教材中的习题进行了详细地分析与解答。为了读者便于查找，教材习题答案中的习题标号与教材中的标号一致。

参加本书编写工作的有黄丽亚和杨恒新老师。其中第4、5、6、8、9、12章由黄丽亚编写，第1、2、3、7、10、11章由杨恒新编写。雷鸿、于红岩和李鹏同学做了部分文字的录入和校对工作，在此表示感谢！

由于编者水平所限和成书仓促，书中难免有错漏和不妥之处，敬请读者提出批评和改进意见。

编者

2005年7月

目　录

第1章 数制与码制

本章介绍数制与码制两部分内容。在数制部分概述数制中的基本概念，介绍各种常用数制（二进制、十进制、十六进制）及其互相间的转换；在码制部分介绍码制的基本概念以及常用的二进制码（循环码、奇（偶）校验码）和BCD码（8421BCD、5421BCD、余3BCD、余3循环BCD）。

1.1 内容提要

1.1.1 数制概述

数制是计数体制的简称，有累加计数制和进位计数制两种，用来表征数值信息。

1. 数码

数码是基本数码的简称，是指计数制中使用的基本数字符号。

2. 基数（R）

计数制中所使用的数码的个数称为基数，亦称底数。基数常用 R 表示。

3. 数位（Z）

在由一串数码构成的数中，数码所在的位置称数位。数位的排序用 i 表示。

4. 位权（Weight）

数位上的数码在表示数时所乘的倍数称为该数位的位权。

5. 数的表示方式

在进位计数制中数的表示方式有位置记数法、按权展开式、和式3种。

1.1.2 常用数制

1. 二进制（Binary）

数码：0、1。

基数：$R=2$。

第 i 位的权值：$W_i=2^i$。

2. 八进制（Octal）

数码：0、1、2、3、4、5、6、7。

基数：$R=8$。

第 i 位的权值：$W_i=8^i$。

3. 十六进制(Hexadecimal)

数码:0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。

基数:$R=16$。

第 i 位的权值:$W_i=16^i$。

1.1.3 数制转换

数制转换:将一种数制的数变换成等值的用另一种数制表示的数。

1. 二进制数(八、十六)转换为十进制数

方法:按"位权"展开相加。

2. 十进制数转换为二(八、十六)进制数

方法:用"基数乘除法"将整数部分和小数部分分别转换成二(八、十六)进制数,再将转换结果连接在一起。

(1) 整数的转换用"除基数取余法",一直到商为0;

(2) 小数的转换用"乘基数取整法",一直到纯小数为0.0或达到要求的精度;

(3) 剩余误差及转换位数的确定。

n 位 R 进制小数的精度:R^{-n}。转换时遵守以下原则:"目标数"的精度应不低于"源数"的精度。

3. 二、八、十六进制数间的相互转换

方法:以小数点为界,用"分组"法直接转换。

1.1.4 码制概述

两种任意数制的转换方法:利用十进制数作为桥梁把一个 α 进制数转换成 β 进制数。

用文字、符号或数码来表示各个特定对象的过程称为编码,编码所得的每组符号称为代码或码字,代码中的每个符号称为基本代码或码元。码制(编码的制式)用来表征非数值信息。

1.1.5 二进制码

二进制代码是指用二进制数码0和1(这里代码中的码元0、1不一定有大小的概念)构成的代码。n 位二进制代码可以构成 2^n 个代码。

1. 自然二进制码

自然二进制码:码元排列顺序与二进制数相同。例如,1100既可以看成数"十二"的二进制数$(1100)_2$,又可以看成数"十二"的自然二进制码$(1100)_{自然二进制码}$,但两者又有明显的区别,前者为数制的范畴,后者为码制的范畴。

2. 格雷码、循环码

格雷码(Gray Code):任意两个相邻数的代码中只有一位对应的码元不同的一种表示数的代码。

循环码:格雷码的一种,首尾两个代码也只有1位对应的码元不同。

循环码的构成规律:互补反射、镜像对称。即沿中心两个代码的分界线,循环码最左

边一位码元互补,其他码元镜像对称。

3. 奇(偶)校验码

1.1.6 二-十进制(BCD)码

二-十进制(BCD)码:用二进制数码 0 和 1 的编码来表示十进制数码 0,1,…,9 的一种代码,或者说是十进制数码 0,1,…,9 的二进制编码。

1. 有权码

代码中的每一位都有固定权值的代码,如:8421BCD、5421BCD、2421BCD、631-1BCD。

2. 无权码

代码中的各位没有固定权值的代码,如:余 3BCD、余 3 循环 BCD、格雷 BCD、8421 奇校 BCD。

3. 8421BCD 码的加减法运算

(1) 两个 8421BCD 码相加,若相加结果中出现了 8421BCD 码的非法码或在相加过程中在 BCD 数位上出现了向高位的进位,则应对非法码及产生进位的代码进行“加 6(即二进制数 0110)修正”;

(2) 两个 8421BCD 码相减,若相减过程中,在 BCD 数位上出现了向高位的借位,则应对产生借位的代码进行“减 6(即二进制数 0110)修正”。

1.1.7 字符、数字代码

在数据通信中,字符、数字代码用于传输数据信息。数据信息一般由字母、数字和符号组合而成。

(1) 国际 2 号电报码(BAUDOT CODE,博多码):5 单位代码。起止式电传、电报通信中使用的标准信息代码。

(2) 国际 5 号电报码(ASCII 码):7 单位代码。

(3) EBCDIC 码:8 单位代码。通常作为计算机内部码使用,而不用于远距离传输。

1.2 典型例题解析

【例 1.1】 将二进制数$(10111.01)_2$转换为等值的十进制数。

【分析】 其他进制数转换为十进制数采用按“位权”展开相加方法。

解

$$(10111.01)_2 = 1\times2^4+1\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-2}=16+4+2+1+0.25 = (23.25)_{10}$$

【例 1.2】 将八进制数$(701.5)_8$转换为等值的十进制数。

解

$$(701.5)_8=7\times8^2+1\times8^0+5\times8^{-1}=(449.625)_{10}$$

【例 1.3】 将十六进制数$(A8.B)_{16}$转换为等值的十进制数。

解

$(A8.B)_{16}=A\times16^1+8\times16^0+B\times16^{-1}=(168.687\,5)_{10}$

【例 1.4】 将十进制数$(57)_{10}$转换为等值的二进制数。

【分析】 十进制数转换为其他进制数，采用“基数乘除法”，将整数部分和小数部分分别转换，再将转换结果连接在一起。

解

$(57)_{10}=(111001)_2$

		余数		有效位
2 | 57				
2 | 28	……	1	……	k_0(最低位)
2 | 14	……	0	……	k_1
2 | 7	……	0	……	k_2
2 | 3	……	1	……	k_3
2 | 1	……	1	……	k_4
0	……	1	……	k_5(最高位)

【例 1.5】 将十进制数$(0.625)_{10}$转换为等值的二进制数。

解

$(0.625)_{10}=(0.101)_2$

		整数		有效位
0.625				
× 2				
1.250	……	1	……	k_{-1}(最高位)
× 2				
0.50	……	0	……	k_{-2}
× 2				
1.0	……	1	……	k_{-3}(最低位)

【例 1.6】 将二进制数$(10111.11001)_2$转换为等值的十六进制数。

【分析】 二、八、十六进制数间的相互转换，以小数点为界，用“分组”法直接转换。首先将二进制数按 4 位一组进行分组，最高位不够 4 位的在其前以 0 补足，最低位不够 4 位的在其后以 0 补足。

解

$(10111.11001)_2=(0001\ 0111.1100\ 1000)_2=(17.C8)_{16}$

【例 1.7】 将八进制数$(107.6)_8$转换为等值的二进制数。

【分析】 一位八进制数码对应 3 位二进制数码，转换后，最前面和最后面的 0 应去掉。

解

$(107.6)_8=(001\ 000\ 111.110)_2=(1000111.11)_2$

1.3 教材习题解答

1.1 将下列各式写成按权展开式：$(352.6)_{10}$，$(101.101)_2$，$(54.6)_8$，$(13A.4F)_{16}$。

解

$(352.6)_{10}=3\times10^2+5\times10^1+2\times10^0+6\times10^{-1}$

$(101.101)_2=1\times2^2+1\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-3}$

$(54.6)_8=5\times8^1+4\times8^0+6\times8^{-1}$

$(13A.4F)_{16}=1\times16^2+3\times16^1+A\times16^0+4\times16^{-1}+F\times16^{-2}$

1.2 按十进制0～17的次序，列表填写出相应的二进制、八进制、十六进制数。

解

略。

1.3 二进制数00000000～11111111和0000000000～1111111111分别可以代表多少个数？

解

分别代表 $2^8=256$ 和 $2^{10}=1\,024$ 个数。

1.4 将下列各数分别转换成十进制数：$(1111101000)_2$，$(1750)_8$，$(3E8)_{16}$。

解

$(1111101000)_2=(1000)_{10}$

$(1750)_8=(1000)_{10}$

$(3E8)_{16}=(1000)_{10}$

1.5 将下列各数分别转换为二进制数：$(210)_8$，$(136)_{10}$，$(88)_{16}$。

解

结果都为$(10001000)_2$。

1.6 将下列各数分别转换成八进制数：$(111111)_2$，$(63)_{10}$，$(3F)_{16}$。

解

结果都为$(77)_8$。

1.7 将下列各数分别转换成十六进制数：$(11111111)_2$，$(377)_8$，$(255)_{10}$。

解

结果都为$(FF)_{16}$。

1.8 转换下列各数，要求转换后保持原精度。

$(1.125)_{10}=(\qquad)_2$

$(0010\ 1011\ 0010)_{2421BCD}=(\qquad)_2$

$(0110.1010)_{余3循环BCD}=(\qquad)_2$

解

$(1.125)_{10}=(1.0010000000)_2$ ……………小数点后至少取 10 位

$(0010\ 1011\ 0010)_{2421BCD}=(11111100)_2$

………………先将 2421BCD 码转换成十进制数$(252)_{10}$，再转换成二进制数

$(0110.1010)_{余3循环BCD}=(1.1110)_2$

………………余 3 循环 BCD 码中的 1 和 0 没有权值意义，因此先转换成十进制数$(1.9)_{10}$，得出原精度为10^{-1}，转换的二进制的小数位$k\geqslant 3.3$，因此至少取 4 位。

1.9 用下列代码表示$(123)_{10}$，$(1011.01)_2$。

(1) 8421BCD 码　　(2) 余 3BCD 码

解

(1) 8421BCD 码

$(123)_{10}=(0001\ 0010\ 0011)_{8421BCD}$

$(1011.01)_2=(11.25)_{10}=(0001\ 0001.0010\ 0101)_{8421BCD}$

(2) 余 3BCD 码

$(123)_{10}=(0100\ 0101\ 0110)_{余3BCD}$

$(1011.01)_2=(11.25)_{10}=(0100\ 0100.0101\ 1000)_{余3BCD}$

1.10 已知$A=(1011010)_2$，$B=(101111)_2$，$C=(1010100)_2$，$D=(110)_2$。

(1) 按二进制运算规律求$A+B$，$A-B$，$C\times D$，$C\div D$；

(2) 将A、B、C、D转换成十进制数后，求$A+B$，$A-B$，$C\times D$，$C\div D$，并将结果与(1)进行比较。

解

(1) $A+B=(10001001)_2=(137)_{10}$

$A-B=(101011)_2=(43)_{10}$

$C\times D=(111111000)_2=(504)_{10}$

$C\div D=(1110)_2=(14)_{10}$

(2) $A+B=(90)_{10}+(47)_{10}=(137)_{10}$

$A-B=(90)_{10}-(47)_{10}=(43)_{10}$

$C\times D=(84)_{10}\times(6)_{10}=(504)_{10}$

$C\div D=(84)_{10}\div(6)_{10}=(14)_{10}$

两种算法结果相同。

1.11 试用8421BCD码完成下列十进制数的运算。

(1) 5+8　　(2) 9+8　　(3) 58+27

(4) 9−3　　(5) 87−25　　(6) 843−348

解

(1) $5+8=(0101)_{8421BCD}+(1000)_{8421BCD}=1101+0110=(1\ 0110)_{8421BCD}=13$

(2) $9+8=(1001)_{8421BCD}+(1000)_{8421BCD}=1\ 0001+0110=(1\ 0111)_{8421BCD}=17$

(3) $58+27=(0101\ 1000)_{8421BCD}+(0010\ 0111)_{8421BCD}=0111\ 1111+0110$

$=(1000\ 0101)_{8421BCD}=85$

(4) $9-3=(1001)_{8421BCD}-(0011)_{8421BCD}=(0110)_{8421BCD}=6$

(5) $87-25=(1000\ 0111)_{8421BCD}-(0010\ 0101)_{8421BCD}=(0110\ 0010)_{8421BCD}=62$

(6) $843-348=(1000\ 0100\ 0011)_{8421BCD}-(0011\ 0100\ 1000)_{8421BCD}$

$=0100\ 1111\ 1011-0110\ 0110=(0100\ 1001\ 0101)_{8421BCD}=495$

1.12 试导出1 位余 3BCD码加法运算的规则。

解

依据相加结果分 3 种情况讨论:合法码、非法码、产生进位。

(1) 0+0:

$$\begin{array}{rr} & 0011 \\ + & 0011 \\ \hline & 0110 \\ - & 0011 \\ \hline & 0011 \end{array}$$

所以,$0+0=(0011)_{余3BCD}=0$。

加法结果为合法余 3BCD 码时,应对结果"减 3 修正"[即减$(0011)_2$]。

(2) 2+7:

$$\begin{array}{rr} & 0101 \\ + & 1010 \\ \hline & 1111 \\ - & 0011 \\ \hline & 1100 \end{array}$$

所以,$2+7=(1100)_{余3BCD}=9$。

加法结果为非法余 3BCD 码时,应对结果"减 3 修正"[即减$(0011)_2$]。

(3) 8+8:

$$\begin{array}{rr} & 1011 \\ + & 1011 \\ \hline & 1\ 0110 \\ + & 0011\ 0011 \\ \hline & 0100\ 1001 \end{array}$$

所以,$8+8=(0100\ 1001)_{余3BCD}=16$。

相加过程中,产生向高位的进位时,应对产生进位的代码进行"加 33 修正"[即加$(0011\ 0011)_2$]。

1 位余 3BCD 码加法运算的规则如下:

加法结果为合法余 3BCD 码或非法余 3BCD 码时,应对结果减 3 修正[即减$(0011)_2$];相加过程中,产生向高位的进位时,应对产生进位的代码进行"加 33 修正"[即加$(0011\ 0011)_2$]。

第 2 章　逻辑代数基础

逻辑代数是分析和设计数字电路的数学工具。下面首先介绍逻辑代数中的各种运算(3 种基本逻辑运算、复合逻辑运算)、各种公式(基本公式、常用公式)和规则(3 个基本规则),然后介绍逻辑函数及其表达式,最后介绍化简逻辑函数的方法(公式化简法、卡诺图化简法)。

2.1　内容提要

2.1.1　概　述

1. 3 种基本逻辑

与逻辑:只有当决定一个事件的条件全部具备,该事件才发生。

或逻辑:决定一个事件的几个条件中,只要有一个或一个以上条件具备,该事件就发生。

非逻辑:条件具备时事件不发生,条件不具备时事件才发生。

2. 逻辑代数与逻辑变量

逻辑代数:描述和研究客观世界中事物间逻辑关系的数学,它把事物间逻辑关系简化为符号间的数学运算。

用类似普通代数形式研究逻辑代数是英国数学家布尔(G. Boole)最早提出的,所以也称为布尔代数。又因为布尔代数中的常量、变量都只有"真"(True)和"假"(False)两种取值,所以也称为二值代数。

逻辑变量:逻辑代数中的变量,在数字电子技术中逻辑变量描述只有两种对立状态的对象(如晶体二极管、晶体三极管等各种器件),用字母等表示,只有两种取值 "0"和"1"。

3. 逻辑函数及其表示方法

(1) 逻辑函数

如果一组逻辑变量 A、B、C …的取值确定以后,逻辑变量 F 的值也随之惟一地确定,称 F 是 A、B、C …的逻辑函数,记作:

$$F=f(x_1,x_2,\cdots,x_n)$$

A、B、C … 常称为输入逻辑变量,F 称为输出逻辑变量,而且它们的值只能取 0 或 1 两种。

(2) 逻辑函数的表示方法

① 真值表

将输入变量的所有取值组合按二进制数递增的顺序排列,并求出和其对应的函数

值,列成表格形式,即得真值表。

如果两个逻辑函数的真值表相同,则称这两个逻辑函数相等。

② 逻辑表达式

由输入变量和“·”、“+”、“—”等逻辑运算符号所构成的表达式。

③ 逻辑图

将逻辑函数中各变量之间的与、或、非等逻辑关系用图形符号表示出来,即得到表示函数关系的逻辑图。

逻辑函数的这 3 种表达方式各具特色,并可以相互转换。

2.1.2 逻辑代数中的运算

1. 3 种基本逻辑运算

(1) 逻辑乘(与运算)

算符:“·”(或者“×”、“∧”、“∩”、“AND”)

运算规则:“输入有 0,输出为 0;输入全 1,输出为 1”,即

$$0\cdot0=0 \qquad 1\cdot0=0 \qquad 0\cdot1=0 \qquad 1\cdot1=1$$

逻辑符号:如图 2.1.1 所示。

逻辑表达式:

$$F=A\cdot B$$

(2) 逻辑加(或运算)

算符:“+”(或者“∨”、“∪”、“OR”)

运算规则:“输入全 0,输出为 0;输入有 1,输出为 1”,即

$$0+0=0 \qquad 0+1=1 \qquad 1+0=1 \qquad 1+1=1$$

逻辑符号:如图 2.1.2 所示。

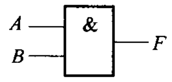

图 2.1.1 与逻辑符号

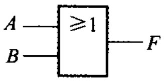

图 2.1.2 或逻辑符号

逻辑表达式:

$$F=A+B$$

(3) 逻辑非(非运算、求反运算)

算符:“—”

运算规则:“输入 0,输出 1;输入 1,输出 0”,即

$$\overline{0}=1 \qquad \overline{1}=0$$

逻辑符号:如图 2.1.3 所示。

逻辑表达式:

$$F=\overline{A}$$

2. 复合逻辑运算

(1) 与非运算:由与运算和非运算组合而成。

逻辑符号:如图 2.1.4 所示。

逻辑表达式:

$$F=\overline{A\cdot B}$$

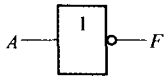

图 2.1.3　非逻辑符号

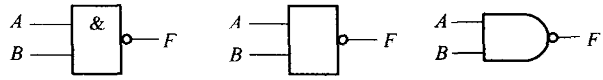

图 2.1.4　与非逻辑符号

(2) 或非运算:由或运算和非运算组合而成。

逻辑符号:如图 2.1.5 所示。

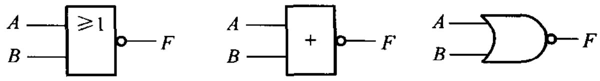

图 2.1.5　或非逻辑符号

逻辑表达式:

$$F=\overline{A+B}$$

(3) 与或非运算:由与运算、或运算和非运算组合而成。

逻辑符号:如图 2.1.6 所示。

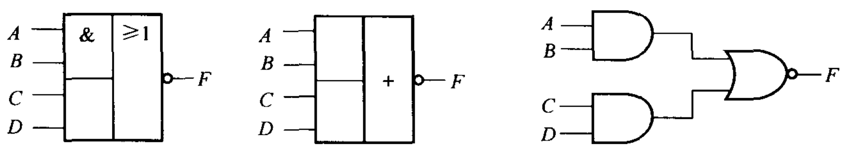

图 2.1.6　与或非逻辑符号

逻辑表达式:

$$F=\overline{A\cdot B+C\cdot D}$$

(4) 异或运算:当两个变量取值相同时,逻辑函数值为 0;当两个变量取值相异时,逻辑函数值为 1,即"相异为真"。

逻辑符号:如图 2.1.7 所示。

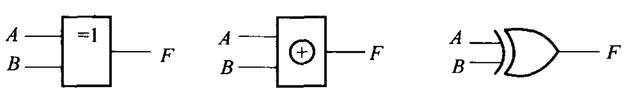

图 2.1.7　异或逻辑符号

逻辑表达式:

$$F=A\oplus B$$

(5) 同或运算:当两个变量取值相同时,逻辑函数值为 1;当两个变量取值相异时,逻辑函数值为 0,即"相同为真"。

逻辑符号:如图 2.1.8 所示。

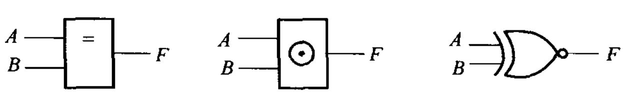

图 2.1.8　同或逻辑符号