数字电路与逻辑设计学习指南

邮电高等学校教材

安德宁 孙礼 编

人民邮电出版社

邮电高等学校教材

数字电路与逻辑设计
学 习 指 南

人 民 邮 电 出 版 社

登记证号(京)143号

内 容 提 要

本书是为配合高等院校“数字电路与逻辑设计”，“数字电子技术”等课程而编写的学习指导书。内容包括课程内容提要，基本要求和各类例题 并附有相当数量的习题及解答。

本书除对一般的逻辑器件、组合电路、时序电路进行学习指导外，还对可编程逻辑器件(PLD)的原理、基本功能、软硬件开发工具、应用实例等做了一定介绍，以便拓宽知识面，增强适用性。

此书可作为高等院校电子类各专业学生学习数字技术的主要参考书，也可供有关教师、工程技术人员参考。

邮电高等学校教材
数字电路与逻辑设计
学 习 指 南
安德宁 孙 泓 编
责任编辑 滑 玉

人民邮电出版社出版发行
北京朝阳门内南竹杆胡同111号
人民邮电出版社河北印刷厂印刷
新华书店总店科技发行所经销

开本：850×1168 1/32 1994 年 10 月 第 一 版
印张：12.75 1994年10月河北第1次印刷
字数：337千字 印数：1—1 500 册
ISBN7-115-05176-3/TN·684
定价：7.50 元

前　言

“数字电路与逻辑设计”是邮电高等院校许多专业都有的一门技术基础课，它的特点是：学科发展迅速、逻辑推理性强，运用灵活且实用性广。采用不同的组合和设计方式，可以使数字集成电路完成各种不同的逻辑功能。因此学习本课程入门并不难，但要灵活掌握却不容易。

本书编写的宗旨是：一方面帮助高等院校学生（包括函大、电大、夜大学生）巩固“数字电路与逻辑设计”课程所学知识，掌握正确的解题思路和方法；另一方面，也考虑到数字技术的近期发展，对当前已广泛应用的可编程逻辑器件（PLD）的原理、基本功能、软硬件开发工具、应用实例等做了比教材更深入一步的介绍，以拓宽学生的知识面，适应新技术发展的需要，培养综合分析的能力。

本书的编排顺序和“数字电路与逻辑设计”类教材基本一致。全书共分九章，包括数制和编码、逻辑代数基础、集成逻辑门、组合逻辑电路的分析与设计、集成触发器、时序逻辑电路、可编程逻辑器件、脉冲的产生与整形电路、D/A和A/D转换器。每一章分内容提要、基本要求、例题和习题等几个层次，书末还附有参考答案。所举例题的解题方法不仅有传统的解法，还有编者在长期从事“数字电路与逻辑设计”教学过程中积累的经验总结。

在本书评审时，各兄弟院校的同行专家们提出了不少中肯的意见，北京邮电大学彭家浚副教授对此书也提出宝贵意见。在此，我们表示诚挚的谢意。

编　者

1992年12月

目　录

第一章　数制和编码

一、内容提要

(一)数制的一些基本概念

1．基数和权

计数值符号的个数r，称为数的基数。数制就是根据基数r及进位规则命名的。例如二进制数有0和1两个数值符号，故$r=2$。

在位置计数法中，对每一个数位赋以一定的位置。此位值称为该位的权。整数部分第i位的权值为r^{i-1}，而小数部分第j位的权值为r^{-j}。

2．任意进制数N_r的按权展开式

任意进制数N_r的按权展开式为：

$$
\begin{aligned}
N_r &= a_{n-1}r^{n-1}+a_{n-2}r^{n-2}+\cdots\cdots+a_0r^0 \\
&\quad +a_{-1}r^{-1}+\cdots\cdots+a_{-m}r^{-m} \\
&= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i r^i
\end{aligned}
$$

式中n表示N_r整数部份的位数，m表示N_r小数部分的位数。a_i为数码，其取值范围为$0\leqslant a_i\leqslant(r-1)$。

(二)各种进位制之间的相互转换

各种数制之间转换的前提是：保证转换前后所表示的数值相等。转换的依据是按权展开式。

1. 二进制数与八进、十六进制数之间的转换

将每一位十六进（或八进）制数，用等值的四位（或三位）二进制数表示，即可转换为二进制数。

反之，要将一个二进制数转换成十六进（或八进）制数，则应以小数点为界，整数从最低位开始，小数从最高位开始，每四位（或三位）分为一组，最后不足四位（或三位）的以0补足四位（或三位），然后每组二进制数分别用等值的十六进（或八进）制数表示，所得的数即为转换后的十六进（或八进）制数。

2. 十进制数和任意进制数之间的相互转换

要将任意进制数转换成十进制数，可用N_r的按权展开式，将任意进制数的a_i用等值十进制数代替，然后按权展开相加，所得的值就是等值的十进制数。

若要将十进制数转换为任意进制数，可采用连乘连除法。先将十进制数的整数部分M_1和小数部分M_2分开。整数M_1用基数r除商为m_1，余数为a_0。再用基数r除商取余数为a_1，这样除商取余重复进行下去，直到商为0为止。将各次余数倒置排列，即得转换后的任意进制数的整数部分。小数M_2用基数r相乘，其积的整数部分即为a_{-1}。再用基数r乘积的小数部分，取积的整数为a_{-2}，这样重复进行下去，直到积的小数部分为0，或所取位数已达到所要求的有效位数为止。将各项积的整数部分顺序排列，即为转换后的任意进制数的小数部分。整数部分和小数部分的和，就是转换后的任意进制数。

（三）数的编码

编码就是用按一定规则组合而成的n位二进制数码，表示数、或字母、或符号的过程。

1. 二进制编码

数的二进制编码是用n位二进制数码对0～(2^n-1)个十进制数进行编码。根据编码规则的不同，又分为自然二进制码和循环

码。

（1）自然二进制码

自然二进制码是用十进制数所对应的等值 n 位二进制数，分别代表 0 ～（2^n－1）个十进制数的编码。这种编码的每一位二进制码都有固定的权值，故这种代码称为有权码。

（2）循环码

循环码又称格雷码，或单位距离码。它的编码规则是：相邻十进制数的两个代码之间仅有一位二进制码不同，并且 n 位二进制数所代表的 0 ～2^n－1 个十进制数中，首尾两数 0 和2^n－1 之间也只有一位二进制码不同。这种编码的每一位都没有固定的权值。

有权码可以利用加权求和的方法得到各代码所代表的十进制数。而无权码只有根据代码结构特点来记忆。

循环码的结构特点是，以最高位 0 、1 的分界为反射轴，上下对称，如图1—1所示。从图中可得到循环码和十进制码的对应关系。用计算的方法也可得到对应十进制数的循环码。

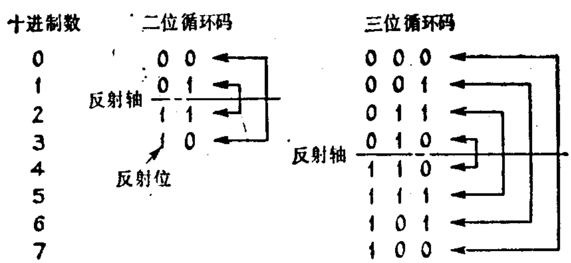

图 1-1

设循环码组中各码元为g_i（i＝ 0 ～n－1），其对应的自然二进制码组中的码元为b_i（ i＝ 0 ～n，其中b_n＝ 0 ），则$g_i=b_{i+1}\oplus b_i$。

例如十进制数14的自然二进制码$b_3b_2b_1b_0$＝1110，则相应的循环码为$g_3g_2g_1g_0$＝($b_4\oplus b_3$)（$b_3\oplus b_2$）（$b_2\oplus b_1$）（$b_1\oplus b_0$）＝1001。

2. 二——十进制码

用一组二进制码对十进制数的 0 —9 十个计数值符号进行编码，称为二——十进制码，简称BCD码。

BCD码至少需要 4 位二进制码表示。而 4 位二进制码有16个码组，从16种码组中选取10种来分别代表0～9十个数字符号的方案很多，总的可分为两类：有权BCD码和无权BCD码。

有权BCD码的每一位码都有固定的权值，将有权BCD码的各位按权展开后相加的和，就是它所代表的十进制数。一般用数字命名的BCD码，其各位数字就是该位的权值。最常用的有权 BCD 码是8421BCD码（简称8421码或BCD码）、2421码和5421码等。

无权BCD码的每一位无固定的权值，只能根据其组成规律记忆。最常用的无权BCD码是余 3 码和余 3 格雷码。余 3 码可由8421码加 3 =0011得到。余 3 格雷码是由 4 位格雷码加 3 组成。

二、基本要求

1. 掌握数制的基数和权的概念，进位制数的按权展开式；
2. 掌握各种进位制数之间相互转换的主要方法；
3. 掌握循环码的编码规则及常用编码。

三、例　　题

【例1-1】 将下列 16 进制数和 8 进制数分别转换成 2 进制数。
〈1〉$(5B)_{16}$，〈2〉$(2A.8)_{16}$，〈3〉$(16.27)_8$

解：〈1〉$5B_{16}=01011011=1011011$

〈2〉$2A.8_{16}=00101010.1000=101010.1$

〈3〉$16.27_8=001110.010111=1110.010111$

【例1-2】 将下列2进制数分别转换成等值8进制数和16进制数。〈1〉100011000，〈2〉11011.101。

解：〈1〉100011000=100，011，000=430_8

100011000=0001，0001，1000=118_{16}

〈2〉11011.101=011，011.101=33.5_8

11011.101=0001，1011，1010=$1B.A_{16}$

【例1-3】 将下列任意进制数转换成等值十进制数，并要求转换后的十进制数有效数为小数点后第3位。〈1〉11011.110，〈2〉57.643_8，〈3〉$76.EB_{16}$，〈4〉435.214_6。

解：(1)
$$11011.110=1\times 2^4+1\times 2^3+1\times 2^1+1\times 2^0+1\times 2^{-1}+1\times 2^{-2}=27.750$$

(2)
$$\begin{aligned}57.643_8&=5\times 8^1+7\times 8^0+6\times 8^{-1}+4\times 8^{-2}+3\times 8^{-3}\\&=47+0.75+0.063+0.006\\&=47.819\end{aligned}$$

(3)
$$\begin{aligned}76.EB_{16}&=7\times 16+6+14\times 16^{-1}+11\times 16^{-2}\\&=112+6+0.875+0.043=118.918\end{aligned}$$

(4)
$$\begin{aligned}435.214_6&=4\times 6^2+3\times 6+5+2\times 6^{-1}+1\times 6^{-2}+4\times 6^{-3}\\&=144+23+0.333+0.028+0.019\\&=167.380\end{aligned}$$

【例1-4】 将下列十进制数分别转换成二进制和十六进制数。

(1)23.375，(2)3910.65625。

解：(1)

$$\begin{array}{r|l}2 & \underline{23} \\ 2 & \underline{11}\ \cdots\cdots 余\ 1=a_0 \\ 2 & \underline{5}\ \cdots\cdots\ 1=a_1 \\ 2 & \underline{2}\ \cdots\cdots\ 1=a_2 \\ 2 & \underline{1}\ \cdots\cdots\ 0=a_3 \\ & 0\ \cdots\cdots\ 1=a_4\end{array}$$

$$\begin{array}{rr} & 0.375 \\ & \times\quad 2 \\ \hline a_{-1}=0\cdots & 0.750 \\ & \times\quad 2 \\ \hline a_{-2}=1\cdots & 1.500 \\ & \times\quad 2 \\ \hline a_{-3}=1\cdots & 1.000\end{array}$$

$$\therefore \quad 23.375 = 10111.011$$
$$= 17.6_{16}$$

（2）

$$\begin{array}{l} 16\underline{|3910} \\ \quad 16\underline{|244} \cdots\cdots 余\ 6 \\ \quad\quad 16\underline{|15} \cdots 余\ 4 \\ \quad\quad\quad 0 \cdots 余\ F \end{array}
\qquad
\begin{array}{r} 0.65625 \\ \times \quad 16 \\ \hline a_{-1} = A \cdots 10.50000 \\ \times \quad 16 \\ \hline a_{-2} = 8 \cdots 8.00000 \end{array}$$

$$\therefore 3910.65625 = F46.A8_{16}$$
$$= 111101000110.10101$$

【例1-5】 若要将 8 位十进制数用二进制数表示，问需要多少位二进制数？

解：i 位十进制数能表示 10^i 个数，而 x 位二进制数能表示 2^x 个数。因此

$$2^x \geqslant 10^i$$

于是 $\quad x \geqslant \log_2 10^i = i\log_2 10 = 3.3i$

当 $i = 8$ 时，$\quad x \geqslant 3.3 \times 8 = 26.4$

故 8 位十进制数用二进制数表示时，需要27位二进制数。

【例1-6】 将十进制数 $(8.705)_{10}$ 转换为六进制数，要求保持 $\pm(0.1)^3_{10}$ 的精度（注：$\log_{10}2 = 0.301$，$\log_{10}3 = 0.477$）。

解：$(8.705)_{10}$ 转换为六进制数的精度决定于六进制数小数部分的位数 m，即 m 应依据精度要求确定。令

$$6^{-m} < |\pm(0.1)^3{}_{10}|$$

则
$$m\log_{10}6 > \log_{10}10^3$$

$$m > 3\frac{\log 10^{10}}{\log 10^6} = 3.85$$

取　　$m=4$

$$\begin{array}{r|l} 6 & 8 \\ \hline 6 & 1 \ \cdots 2 \\ \hline & 0 \ \cdots 1 \end{array}
\qquad\qquad
\begin{array}{rr} & 0.705 \\ & \times\quad 6 \\ \hline 4\cdots\cdots & 4.230 \\ & \times\quad 6 \\ \hline 1\cdots\cdots & 1.380 \\ & \times\quad 6 \\ \hline 2\cdots\cdots & 2.280 \\ & \times\quad 6 \\ \hline 1\cdots\cdots & 1.680 \end{array}$$

$\therefore (8.705)_{10}=(12\cdot 4121)_6$

【例1-7】 将下列十进制数分别用8421BCD码和余3格雷码表示：(1)860，(2)5324。

解：(1)$860=100001100000_{8421BCD}$

在求余3格雷码时，一种是记住0～9对应的余3格雷码后直接写出。另一种方法是由二进制码推算出相应的格雷码后，按格雷码结构往前加3，所对应的代码即是所求的余3格雷码。例如$8=1000_2=1100$格雷码。根据格雷码的对称性1100往前数应是1101→1111→1110，故$8=1110_{\text{余3格雷码}}$，于是：

$$860=111011010010_{\text{余3格雷码}}$$

(2)$5324=0101001100100100_{8421\text{码}}$

$$5324=1100010101110100_{\text{余3格雷码}}$$

【例1-8】 将下列BCD码表示为十进制数。

(1)$01111001_{\text{余3码}}$，(2)$10110011_{2421\text{码}}$，

(3)$10100111_{\text{余3格雷码}}$。

解：(1)$01111001_{\text{余3码}}=01000110_{8421BCD}=46$

(2)$10110011_{2421BCD}=(1\times2+0\times4+2\times1+1\times1)(1\times2+1\times1)=53$

(3)$10100111_{\text{余3格雷码}}$中的$1010_{\text{循环码}}=1100_{\text{二进码}}=12$

而$0111=0101_{二进码}=5$。余3格雷码是循环码加3组成。故

$$10100111_{余3格雷码}=92$$

四、习　　题

1-1 将下列不同进制数表示为按权展开式。

(1)1754.329_{10}，(2)1101.0101_2，

(3)532.447_8，(4)$5A7.3ED_{16}$。

1-2 将下列8进、16进制数转换为2进制数。

(1)777_8，(2)128_8，(3)$FC2_{16}$，(4)$4A6C_{16}$。

1-3 将下列二进制数转换为8进制数，10进制数和16进制数。

(1)101010_2，(2)10010111_2，(3)1001100110_2，

(4)10101.011010_2，(5)101011.1011_2。

1-4 将下列十进制数分别转换成等值的二进制数（取小数点后6位），八进和十六进制数（取小数点后3位）。

(1)53.0，(2)0.765，(3)193.904，(4)421.6095。

1-5 估计表示下列十进制数所需的二进制数的位数。

(1)10^4，(2)10^7。

1-6 在下列各题的空格中，填入正确答案的序号。

(1)已知十进制数126的等值二进制数是______；它的8421BCD码是______。

a. 000001111110； b. 000100110101；

c. 000100100110。

(2)$000100101100_{2421BCD}$等值的十进制数是______。

a. 129； b. 139； c. 126。

(3)二进制数10010110的等值十进制数是______；等值八进制

数是______；等值十六进制数是______。

a. 96；　b. 150；　c. 189；　d. 223。

1-7 估计下列每个二进制数的十进制数值。

（1）10000000000，　（2）1000000000000000，

（3）2^{20}，　（4）2^{30}，　（5）111111111111111111＝$2^{18}-1$。

1-8 基数为3（即三进制）的系统具有三值常量，其值为0，1，2。试把下列三进制数转换成十进制数。

（1）12021，　（2）112211，　（3）210，

（4）1010，　（5）10000。

1-9 二进制数 00000000～11111111 可以代表多少个数？而二进制数0000000000～1111111111呢？

1-10 基数为r_1（即r_1进制）的系统具有0,1……（r_1-1）等r_1个常量值，例如十二进制数的十二个常量值为0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B。试将下列各数转换成二进制数。

（1）42_5，　（2）614_7，　（3）614_9，　（4）$A98B_{12}$

1-11 对下列各题进行计算，求使其正确的基数r＝？。

（1）　1234＋5432＝6666，（2）　$\sqrt{49}=5$，（3）　$\sqrt{51}=9$。

1-12 完成下列数制之间的换算。

（1）101011.1011_2＝__________$_{10}$；

（2）34567_8＝__________$_{10}$；

（3）$7E2C_{16}$＝__________$_2$；

（4）38.65_{10}＝__________$_2$；

（5）347_8＝__________$_{16}$；

（6）143112_5＝__________$_7$。

1-13 将下列十进制数用8421BCD码表示。