全美经典学习指导系列

数　字　原　理

〔美〕R.L.托克海姆　著

陈文楷　徐萍萍　译

科　学　出　版　社

麦格劳-希尔教育出版集团

2002

内 容 简 介

本书为“全美经典学习指导系列”之一.

本书为大学工科电子技术类基础课教学参考书。本书主要内容有数制与编码、逻辑门、逻辑电路的化简、TTL和CMOS集成电路、数码转换、二进制运算及其运算电路、触发器和多谐振荡器、计数器、移位寄存器、存储器以及其他器件和技术。本书结构合理,便于读者逐步掌握数制理论及设备器件等知识,并介绍解决实际相关问题的方法。书中穿插有一定量的习题,使读者迅速掌握并巩固数字电子技术的基础知识。每章结尾的补充练习便于读者扩大知识面。每道题后都附有答案,因此本书比较适合于自学。

本书可以作为电子信息、电气工程及其自动化等及其相关专业的教科书,也可供一般工程技术人员参考。

Roger L.Tokheim:Schaum's Outlines Digital Principles,Third Edition
ISBN:0-07-065050-0

图字:01-2001-1773 号

图书在版编目(CIP)数据

数字原理/〔美〕托克海姆(Tokheim, R.L.)著;陈文楷,徐萍萍译.—北京:科学出版社,2002
(全美经典学习指导系列)
ISBN 7-03-009900-1

Ⅰ.数… Ⅱ.①托…②陈…③徐… Ⅲ.数字电路-高等学校-教材 Ⅳ.TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 083585 号

科学出版社 出版
北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717
http://www.sciencep.com

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年2月第 一 版 开本:A4(890×1240)
2002年2月第一次印刷 印张:16 1/4
印数:1—5 000 字数:570 000

定价: 24.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前　　言

数字电子技术是一门快速发展的技术学科。大多数民用新产品、工业设备及控制、办公、医疗、军事以及通信设备等都采用数字电路，其广泛应用的主要原因是廉价集成电路的发展，以及显示、存储和计算机技术的应用。

本书主要为读者在学习数字电路遇到问题时提供必要的知识。因此，本书适用于学生、技术人员、工程师及业余爱好者。本书的宗旨是向读者展示如何应用数字电子技术理论解决实际问题，当然，也强调基本原理的学习。本书中有 1000 多道习题和补充习题。

本书第三版仍保留了前两个版本中许多十分成功的内容。为了反映目前更多地使用 COMS，NMOS 和 PMOS 集成电路这一技术的发展趋势，书中对一些传统内容作了相应的改动。由于在数字电子之后讲授微处理器课程，本书还包括微处理器和微型计算机的相关内容。另外，书中新增加一章论述 TTL 和 CMOS 器件的特性及其接口，并对显示技术方面的内容进行扩展，如液晶显示(LCD)和真空荧光显示(VF)。本书有关章节中还补充了可编程逻辑阵列(PLA)、数值比较器、多路输出选择器和施密特触发器等内容。

为了与高级中学、职业技术学校、理工类大学和大学低年级的课程相一致，本书所涉及的内容都经过精心筛选，参考了多本最广泛使用的数字电子学教材。书中的内容和习题都与标准教材相对应。

书中首先介绍数制和数字编码，接下来介绍逻辑门和组合逻辑电路的内容；然后对 TTL 和 CMOS 集成电路的特点及各种接口电路进行了详细说明；随后是编码器、译码器、显示驱动器以及 LED、LCD 和 VF 七段显示的内容；并讨论各种运算电路。后面的内容还包括触发器、多谐振荡器、时序逻辑、计数器和移位寄存器，以及半导体和大容量存储器等。最后对多路转换器、多路输出选择器、锁存器和缓冲器、数字信号转换器、数值比较器、施密特触发器以及可编程逻辑阵列进行了介绍。本书强调工业标准数字集成电路(TTL 和 CMOS)的使用，因此，读者会对数字电子学的实际硬件方面比较熟悉。书中的大多数电路都可用标准数字集成电路进行布线。

在此我要感谢我的儿子 Marshall，为使本书尽可能准确，他为打印、校对书稿及测试电路花费了大量时间。最后，我对家中成员 Daniel 和 Carrie 的耐心帮助表示感谢。

R.L.托克海姆

目　　录

第一章　数字电子学中数的表示

1.1　概述

人们对十进制都比较熟悉。十进制使用的符号为 0,1,2,3,4,5,6,7,8 和 9,并具有位值的特点。以一个十进制数 238 为例,其中数字 8 在个位,3 在十位,因此 3 个 10 就为 30,而 2 在百位,代表了两个 100 即 200。将 200,30,8 加在一起就是十进制数 238。十进制又称为基数为 10 的数制,这是因为十进制包括 10 个不同的符号。在数字电子学和计算机中广泛应用的是二进制数(基数为 2),而十六进制(基数为 16)和八进制(基数为 8)常用于表示二进制数组。二进制和十六进制在现代微型计算机方面的应用十分广泛。

以上所有数制(十进制、二进制、八进制、十六进制)都可用于计数,它们都具有位值的特点。

1.2　二进制数

二进制只有两个符号(0,1),它的基数为 2,因而通常又称为以 2 为基数的数制。每一个二进制数字被称为一位。

二进制数的计数方式如图 1-1 所示。在图中右侧为与十进制值相对应的二进制数。可以看到最低位的权值为 1。换句话说,如果在右边的列中为 1,则该二进制数增加 1。从右边数第 2 位的权值为 2。在这一列中为 1(相当于十进制的第 2 列),则意味着计数增加 2。在图 1-1 中还列出了其他 3 个二进制位的值(4,8 和 16)。从中我们可以看出每增大 1 次权值,就增大 2 次幂。权值为 1 的位实质上为 2^0,权值为 2 的位为 2^1,权值为 4 的位为 2^2,权值为 8 的位为 2^3,权值为 16 的位为 2^4。在数字电子学习中,通常应至少记住从 0000 到 1111(读一,一,一,一)或十进制数 15 的二进制计数序列。

十进制数	二进制数				
	16s	8s	4s	2s	1s
0					0
1					1
2				1	0
3				1	1
4			1	0	0
5			1	0	1
6			1	1	0
7			1	1	1
8		1	0	0	0
9		1	0	0	1
10		1	0	1	0
11		1	0	1	1
12		1	1	0	0
13		1	1	0	1
14		1	1	1	0
15		1	1	1	1
16	1	0	0	0	0
17	1	0	0	0	1
18	1	0	0	1	0
19	1	0	0	1	1
	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
	2的加权				

图 1-1　二进制与十进制计数

图 1-2(a)中表明了如何将二进制数 10011(读一、零、零、一、一)转换为相应的十进制数。从图中可以看到,二进制数中每一个为 1 的位的下方,写出了与其相对应的十进制值。这些十进制值相加(16+2+1=19),就得出了等价的十进制数,那么二进制数 10011 就等于十进制数 19。

二进制数 101110 可采用相同的步骤,如图 1-2(b)所示。二进制数中每一个为 1 的位都有其相应的十进制值。该二进制数的最高位为 32,将 8 与 4 和 2 的和相加,再加上 32 等于 46。因此二进制数 101110 就等于十进制数 46。图 1-2(b)中还标示出了二进制的小数点(与十进制的小数点类似),在对整个二进制数进行运算时,常忽略小数点。

那么 111 的值是多少呢?它可能是十进制数 111,或是二进制数 111。在一些书中采用图 1-2(c)所示的表示方法,即标出数的基数。在该例中,基数以下标的形式标在数的后面。如基数 10 作为下标标在数 19 的后面。图 1-2(c)为图 1-2(a)和图 1-2(b)中二-十进制数制转换的概括。

如何对小数进行数制转换呢?在图 1-3 中说明了将二进制数 1110.101 转换为相应的十

进制数的方法。最上面第 1 行列出的是位权的值，注意小数点右端每位的权值。转换过程与整数相同，将二进制数中每位为 1 的权值相加就得到了十进制数，在本例中，该十进制数为 8＋4＋2＋0.5＋0.0125＝14.625。

2的加权		2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
位权值		16s	8s	4s	2s	1s	
二进制		1	0	0	1	1	. ←— 二进制小数点
十进制		16	+		2 +	1	= 19

(a) 二－十进制转换

2的加权	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	
位权值	32s	16s	8s	4s	2s	1s	
二进制	1	0	1	1	1	0	. ←— 二进制小数点
十进制	32	+	8 +	4 +	2		= 46

(b) 二－十进制转换

$10011_2=19_{10}$　　$101110_2=46_{10}$

(c) 转换结果及以下标来表示基数

图 1-2

2的加权	2^3	2^2	2^1	2^0		$1/2^1$	$1/2^2$	$1/2^3$	
位权值	8s	4s	2s	1s		0.5s	0.25s	0.125s	
二进制	1	1	1	0	.	1	0	1	
十进制	8 +	4 +	2	+		0.5	+	0.125 =	14.625

图 1-3　二-十进制转换

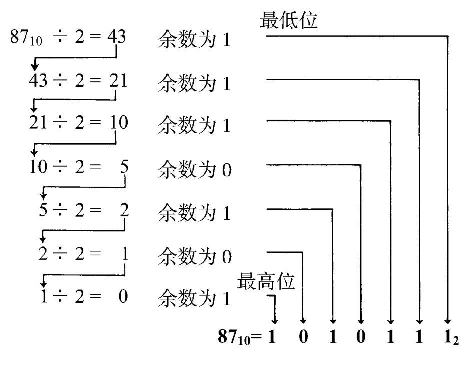


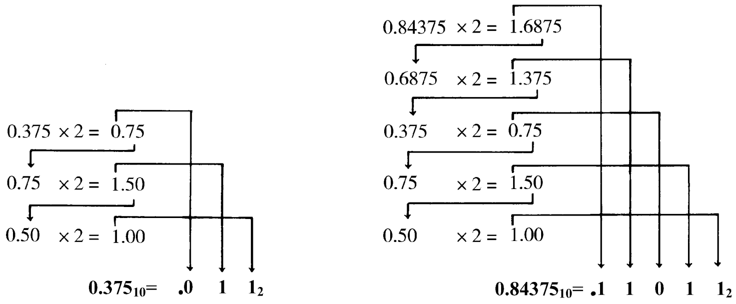
图 1-4　十-二进制转换

一种简便的将二进制数 87 转换为十进制数的方法如图 1-4 所示。87 首先被 2 除，得余数为 1，而商为 43。其中余数就是二进制数的最低位，记在图中右边。商(43)如图所示又变为被除数。所得的商重复除以 2，直到商为 0 余数为 1，如图 1-4 的最后一行所示。图的下方表示出了与十进制数 87 等价的二进制数 1010111。

图 1-5(a)说明了将二进制数 0.37 转换为十进制数的方法。十进制数(0.37)先与 2 相乘，得 0.75。最靠近二进制小数点的位的值就是整数位(权值为十的位)的 0。然后将 0.75 与 2 相乘，得数为 1.5。进到整数位的 1 就是二进制数中小数点后第 2 位的值。接下来 0.5 再乘以 2，得 1.00，二进制数中最后一位上的 1 就是进到整数位的 1。转换过程在乘积为 1.00 时终止。图 1-5(a)表明了十进制数 0.375 转换为二进制数 0.011 的过程。

0.84375 的十-二进制转换见图 1-5(b)。同样先将 0.84375 与 2 重复相乘，然后将每次乘积取整后的数顺序排列，就组成了二进制数，转换在乘积数为 1.00 时终止。在本例中，十进制数 0.84375 被转换为二进制数 0.11011。

将十进制数 5.625 转换为二进制数分为两步。对整数部分(5)做重复的除法运算，如图



(a)　　(b)

图 1-5　小数的十-二进制转换

1-6上半部分所示。5 的二进制表示为 101。分数部分(0.625)转换为二进制 0.101,如图 1-6 下部所示。分数部分的转换过程为重复乘法运算。将整数与分数部分组合在一起,则十进制数 5.625 的二进制表示为 101.101。

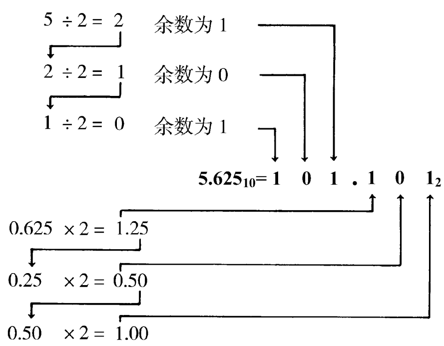


图 1-6　十-二进制转换

习　题　解　答

1.1　二进制是以________为基数的数制,基数为________。

解 ☞　二进制是以 2 为基数的数制,基数为 2。

1.2　对于二进制数来说,位是指________。

解 ☞　位指的是二进制的一位数字。

1.3　如何按下列方式读数 1001? (a)二进制　(b)十进制。

解 ☞　1001 应读为:(a)一,零,零,一(b)一千零一。

1.4　110_{10} 以________为基数。

解 ☞　由数的下标 10 可知,110_{10} 以 10 为基数。

1.5　表示出数一,一,零,零,一,它的基数是 2。

解 ☞　11001_2。

1.6　将下列二进制数转换为其相应的十进制值:

(a)001100, (b)000011, (c)011100, (d)111100, (e)101010, (f)111111, (g)100001, (h)111000。

解 ☞　(a)$001100_2=12_{10}$, (b)$000011_2=3_{10}$, (c)$011100_2=28_{10}$, (d)$111100_2=60_{10}$, (e)$101010_2=42_{10}$, (f)$111111_2=63_{10}$, (g)$100001_2=33_{10}$, (h)$111000_2=56_{10}$。

1.7　$11110001111_2=$________$_{10}$。

解 ☞　按图 1-2 所示的方法,$11110001111_2=1935_{10}$。

1.8　$11100.011_2=$________$_{10}$。

解 ☞　按图 1-3 所示的方法,$11100.011_2=28.375_{10}$。

1.9　$110011.10011_2=$__________$_{10}$。

解 ☞　按图 1-3 所示的方法，$110011.10011_2=51.59375_{10}$。

1.10　$1010101010.1_2=$__________$_{10}$。

解 ☞　按图 1-3 所示的方法，$1010101010.1_2=682.5_{10}$。

1.11　将下列十进制数转换为相应的二进制数：

(a)64，　(b)100，　(c)111，　(d)145，　(e)255，　(f)500。

解 ☞　按图 1-4 所示方法，以上十进制数的二进制值如下：

(a)$64_{10}=1000000_2$，　(b)$100_{10}=1100100_2$，　(c)$111_{10}=1101111_2$，　(d)$145_{10}=10010001_2$，

(e)$255_{10}=11111111_2$，　(f)$500_{10}=111110100_2$。

1.12　$34.75_{10}=$__________$_2$。

解 ☞　按图 1-6 所示的方法，$34.75_{10}=100010.11_2$。

1.13　$25.25_{10}=$__________$_2$。

解 ☞　按图 1-6 所示的方法，$25.25_{10}=11001.01_2$。

1.14　$27.1875_{10}=$__________$_2$。

解 ☞　按图 1-6 所示的方法，$27.1875_{10}=11011.0011_2$。

1.3　十六进制数

十六进制数以 16 为基数，因此它又称为基数为 16 的数制。它使用的符号为 1～9，A，B，C，D，E 和 F，如图 1-7 列表中的十六进制列。其中字母 A 代表 10，B 代表 11，C 代表 12，D 代表 13，E 代表 14，F 代表 15。十六进制的优点在直接对 4 位二进制数转换时十分有用。从图 1-7可以看到，从 0000 到 1111，每个二进制数都可由 1 位十六进制数表示。

十进制	二进制	十六进制	十进制	二进制	十六进制
0	0000	0	16	10000	10
1	0001	1	17	10001	11
2	0010	2	18	10010	12
3	0011	3	19	10011	13
4	0100	4	20	10100	14
5	0101	5	21	10101	15
6	0110	6	22	10110	16
7	0111	7	23	10111	17
8	1000	8	24	11000	18
9	1001	9	25	11001	19
10	1010	A	26	11010	1A
11	1011	B	27	11011	1B
12	1100	C	28	11100	1C
13	1101	D	29	11101	1D
14	1110	E	30	11110	1E
15	1111	F	31	11111	1F

图 1-7　十进制、二进制、十六进制计数

图 1-7 中十进制数 16 所在的一行中，其相应的十六进制值为 10，表明十六进制数也采用权值的方法。10_{16} 中的 1 代表 16，0 则代表 0。

图 1-8(a)显示了将十六进制数 2B6 转换为十进制数的类似过程。2 位于 256 权位上，则 2 ×256＝512，写于十进制行中。十六进制数 B 在 16 的权位上，由图 1-7 可知 B 对应十进制数 11，则意味着有 11 个 16(16×11)，为 176。将 176 与总的十进制数相加，如图 1-8(a)中下部所示。权值为 1 的列为 6，也被加到十进制行中。将所有十进制行中的值相加(512＋176＋6＝694)，可得 69410。图 1-8(a)表明 $2B6_{16}$ 等于 694_{10}。

16的加权	16^2		16^1		16^0		
位权值	256s		16s		1s		
十六进制数	**2**		**B**		**6**		
十进制	$\begin{array}{r}256\\ \times 2\\ \hline 512\end{array}$	+	$\begin{array}{r}16\\ \times 11\\ \hline 176\end{array}$	+	$\begin{array}{r}1\\ \times 6\\ \hline 6\end{array}$	=	694_{10}

(a) 十六－十进制转换

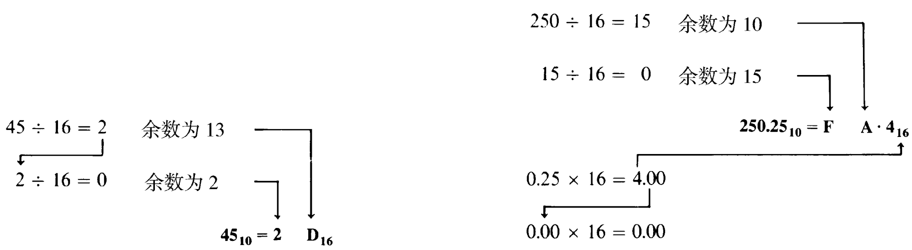
16的加权	16^2		16^1		16^0		$1/16^1$		
位权值	256s		16s		1s		.0625s		
十六进制数	**A**		**3**		**F**	**.**	**C**		
十进制	$\begin{array}{r}256\\ \times 10\\ \hline 2560\end{array}$	+	$\begin{array}{r}16\\ \times 3\\ \hline 48\end{array}$	+	$\begin{array}{r}1\\ \times 15\\ \hline 15\end{array}$	+	$\begin{array}{r}.0625\\ \times 12\\ \hline 0.75\end{array}$	=	2623.75_{10}

(b) 小数的十六－十进制转换

图 1-8

图 1-8(b)详细说明了如何将十六进制数 A3F.C 转换为其相应的十进制数。首先，由权值为 256 的位为 A 可知 256 与 10 相乘，得到的乘积为 2560。另外，该十六进制数中 3 所在位的权值为 16，则 16×3＝48，并将其加到十进制行中。而 F 所在位的权值为 1，则 1×15＝15；十六进制数 C 所在位的权值为 0.0625，则 12×0.0625＝0.75。将 15 和 0.75 都加入到十进制行中，并将所有的值相加（2560＋48＋15＋0.75＝2623.75），即可得十进制数为 2623.75。图 1-8(b)中所示为将 A3F.C_{16} 转换为 2623.75_{10} 的过程。

现在将这一过程反过来，将十进制数 45 转换为十六进制数。在图 1-9(a)中详细说明了重复被 16 除的类似过程。十进制数 45 首先除以 16，得商为 2 而余数为 13。余数 13（十六进制中的 D）即是十六进制数的最低位。商(2)又成为被除数，被 16 除后所得除数为 0，而余数为 2，则 2 即是十六进制数中的第 2 位数。这一转换过程在商的整数部分为 0 时终止。图 1-9(a)表明了将十进制数 45 转换为十六进制数 2D 的过程。



(a) 十－十六进制转换　　(b) 小数的十－十六进制转换

图 1-9

将十进制数 250.25 转换为十六进制数的过程分为两部分，如图 1-9(b)所示。该十进制数的整数部分(250)经重复除以 16 可转换为十六进制数，余数 10（十六进制数 A）与 15（十六进制数 F）组成整个十六进制数 FA。250.25 的小数部分与 16 相乘（0.25×16）的结果为 4.00，则将整数 4 置于图 1-9(b)中所示的位置。整个过程将十进制数 250.25 转换为十六进制数 FA.4。

十六进制的主要优点是易于转换为二进制。图 1-10(a)所示为如何将十六进制数 3B9 转换为二进制数。可以看到一位十六进制数为一组 4 位二进制数。将这些组合在一起就构成了二进制数。在本例中，$3B9_{16}$ 等于 1110111001_2。

$$\begin{array}{ccc} 3 & B & 9_{16} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 0011 & 1011 & 1001 \end{array} \qquad 3B9_{16} = 1110111001_2$$

(a) 十六－十进制转换

$$\begin{array}{ccccc} 4 & 7 & . & F & E \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 0100 & 0111 & . & 1111 & 1110 \end{array} \qquad 47.FE_{16} = 1000111.1111111_2$$

(b) 小数的十六－十进制转换

$$\begin{array}{cccc} 1010 & 1000 & 0101 & . \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \\ A & 8 & 5 & \end{array} \qquad 101010000101_2 = A85_{16}$$

(c) 二－十六进制换转

$$\begin{array}{ccccc} 0001 & 0010 & . & 0110 & 1100 \\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 1 & 2 & . & 6 & C \end{array} \qquad 10010.011011_2 = 12.6C_{16}$$

(d) 小数的二－十六进制转换

图 1-10

图 1-10(b)中所示为小数的十六-十进制转换，在此同样每 4 位一组二进制数构成 1 位十六进制数，且十六进制小数点直接移植为二进制数小数点。由图可得，十六进制数 47.FE 转换为二进制数 1000111.1111111。显然，与二进制的一长串 0 和 1 相比，十六进制数的书写紧凑而且容易的多，因而十六进制可作为二进制数的速记形式。

将二进制数 101010000101 转化为十六进制，如图 1-10(c)所示。首先从小数点处开始，将该二进制数分为 4 位一组，然后将每组以一位十六进制数表示。则由图 1-10(c)可知，二进制数 101010000101 等于十六进制数 A85。

图 1-10(d)说明了对小数 10010.011011 的二-十六进制转换。同样首先从小数点处开始，按 4 位一组对二进制数进行划分。在最左端组中应补充 3 个 0，组成 0001；在最右端组中补充两个 0，组成 1100。此时每组都含有 4 位，可进行图 1-10(d)所示的十六进制转换。那么二进制数 10010．011011 就等于$12.6C_{16}$。

作为一项实用功能，许多新型手持式计算器都能进行数的基数转换。大多数都能对十进制、十六进制、八进制和二进制进行相互转换，还能在不同基数的数制之间进行代数运算。

习　题　解　答

1.15　十六进制有时又被称为基数为__________的数制。

解 ☞　十六进制有时又被称为基数为 16 的数制。

1.16　列出在十六进制中使用的 16 个符号。

解 ☞　根据图 1-7，十六进制中使用的 16 个数码为：0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B，C，D，E 和 F。

1.17　将下列十六进制数转换为与其相应的二进制值：

(a) C，(b) 9F，(c) D52，(d) 67E，(e) ABCD。

解 ☞　按照图 1-8(a)所示过程，并根据图 1-7，与各十六进制数对应的十进制数如下：

(a) $C_{16}=12_{10}$，(b) $9F_{16}=159_{10}$，(c) $D52_{16}=3410_{10}$，(d) $67E_{16}=1662_{10}$，

(e) $ABCD_{16}=43981_{10}$。

1.18　将下列十六进制数转换为十进制数：

(a) F.4，(b) D3.E，(c) 1111.1，(d) 888.8，(e) EBA.C。

解 ☞　按照图 1-8(b)所示过程，并根据图 1-7，与各十六进制数对应的十进制数如下：

(a) $F.4_{16}=15.25_{10}$，(b) $D3.E_{16}=211.875_{10}$，(c) $1111.1_{16}=4369.0625_{10}$，

(d) $888.8_{16}=2184.5_{10}$，(e) $EBA.C_{16}=3770.75_{10}$。

1.19　将下列十进制整数转换为与其相应的十六进制数：

(a) 8，(b) 10，(c) 14，(d) 16，(e) 80，(f) 2560，(g) 3000，(h) 62 500。

解 ☞　按照图 1-9(a)所示过程，并根据图 1-7，与各十进制数对应的十六进制数如下：

(a) $8_{10}=8_{16}$，(b) $10_{10}=A_{16}$，(c) $14_{10}=E_{16}$，(d) $16_{10}=10_{16}$，(e) $80_{10}=50_{16}$，

(f) $2560_{10}=A00_{16}$，(g) $3000_{10}=BB8_{16}$，(h) $62\,500_{10}=F424_{16}$。

1.20　将下列十进制数转换为与其相应的十六进制数：

(a) 204.125，(b) 255.875，(c) 631.25，(d) 10 000.00390625。

解 ☞　按照图 1-9(b)所示过程，并根据图 1-7，与各十进制数对应的十六进制数如下：

(a) $204.125_{10} = CC.2_{16}$，(b) $255.875_{10} = FF.E_{16}$，(c) $631.25_{10} = 277.4_{16}$，
(d) $10000.00390625_{10} = 2710.01_{16}$。

1.21　将下列十六进制数转换为与其相应的二进制数：
(a) B，(b) E，(c) 1C，(d) A64，(e) 1F.C，(f) 239.4。

解 ☞　按照图 1-10(a)和图 1-10(b)所示过程，并根据图 1-7，与各十六进制数对应的二进制数如下：
(a) $B_{16} = 1011_2$，(b) $E_{16} = 1110_2$，(c) $1C_{16} = 11100_2$，(d) $A64_{16} = 101001100100_2$，
(e) $1F.C_{16} = 11111.11_2$，(f) $239.4_{16} = 1000111001.01_2$。

1.22　将下列二进制数转换为与其相应的十六进制数：
(a) 1001.1111，(b) 10000001.1101，(c) 110101.011001，(d) 10000.1，
(e) 10100111.111011，(f) 1000000.0000111。

解 ☞　按照图 1-10(c)和图 1-10(d)所示过程，并根据图 1-7，与各二进制数对应的十六进制数如下：
(a) $1001.1111_2 = 9.F_{16}$，(b) $10000001.1101_2 = 81.D_{16}$，(c) $110101.011001_2 = 35.64_{16}$，
(d) $10000.1_2 = 10.8_{16}$，(e) $10100111.111011_2 = A7.EC_{16}$，(f) $1000000.0000111_2 = 40.0E_{16}$。

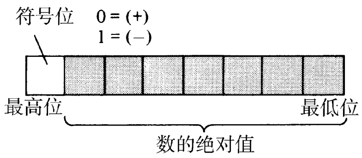
1.4　二进制补码

在具有微处理器的设备中广泛采用的方法是以二进制补码表示数。到目前为止，我们所假设的数都是正数，然而微处理器必须既能处理正数，又能处理负数。因此，由二进制补码可同时确定数的符号和大小。

若某微处理器的寄存器为 8 位，如图 1-11(a)所示。其中最高位为符号位，若此位为 0，则该数为正(＋)；若符号位为 1，则该数为负(－)。剩下的 7 位表示该数的绝对值大小。

图 1-11(b)的表中显示了由二进制补码表示的正数和负数。例如，用二进制补码表示＋127 为 01111111，－128 为 10000000。可以看出，对于正的十进制数来说，用二进制补码表示与用二进制表示完全相同。

图 1-12 中说明了将带符号的十进制数－1 转换为二进制补码，需经过以下 5 个步骤：



(a) 8 位寄存器的最高位是符号位

带符号的十进制数	8位二进制补码表示法	
+127	0	111 1111
+126	0	111 1110
+125	0	111 1101
+124	0	111 1100
⋮	⋮	⋮ ⋮
+5	0	000 0101
+4	0	000 0100
+3	0	000 0011
+2	0	000 0010
+1	0	000 0001
+0	0	000 0000
−1	1	111 1111
−2	1	111 1110
−3	1	111 1101
−4	1	111 1100
−5	1	111 1011
⋮	⋮	⋮ ⋮
−125	1	000 0011
−126	1	000 0010
−127	1	000 0001
−128	1	000 0000
	符号	绝对值

与二进制码完全相同

(b) 正数和负数的二进制补码表示

图 1-11

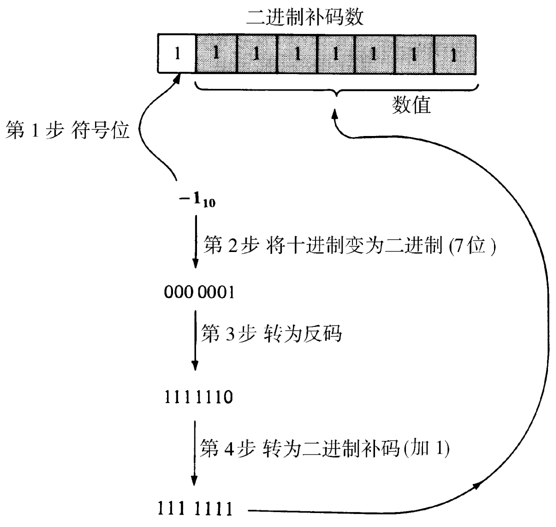


图 1-12　将带符号的十进制数转换为二进制补码

第 1 步,将-1的符号与大小分开。负号意味着在二进制补码中符号位为 1。

第 2 步,将十进制数 1 转换为相应的 7 位二进制数。本例中,$1_{10}=0000001_{10}$。

第 3 步,将 0000001 转换为反码形式。方法为将所有的 0 变为 1,1 变为 0。本例中,0000001 的反码为 1111110。

第 4 步,将反码转换为二进制补码。二进制补码等于反码加 1。因而反码 1111110 的二进制补码为 1111111。

第 5 步,7 位二进制补码(本例为 1111111)即是整个 8 位二进制补码的数绝对值部分。

可以得到转换结果为:带符号十进制数-1的二进制补码表示为 11111111,如图 1-12 上部寄存器中所示。

将二进制补码 11111000 转换为带符号的十进制的过程与上述步骤相反。按图 1-13 转换分为以下 4 步。

第 1 步,将二进制补码中的符号位与数值部分分开。由于最高位是 1,则十进制数的符号应为负。

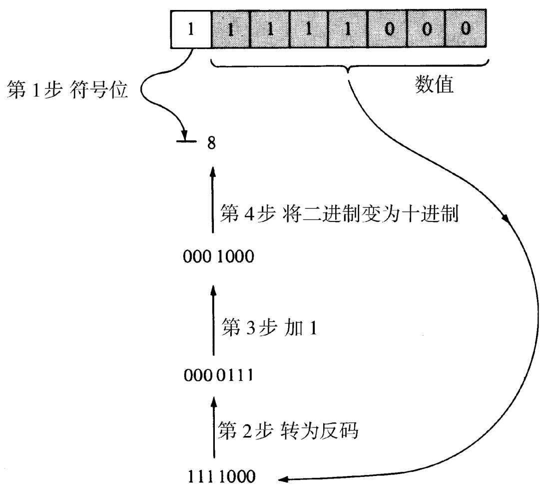


图 1-13　将二进制补码转换为带符号的十进制数

第 2 步,从值的大小得出反码的值。7 位二进制数 1111000 的反码为 0000111。

第 3 步,反码加 1。0000111 与 1 相加的 0001000。此时可知 7 位二进制数为 0001000。

第 4 步,将二进制数转换为十进制数。本例中 0001000 为十进制数 8,则此数的绝对值为 8。

图 1-13 所示的过程表明了将二进制补码转换为带符号的十进制负数的方法。在本例中二进制补码 11111000 等于十进制数-8。

二-十进制转换规则(见图 1-4)应用于与正的十进制数相等的二进制补码的转换。记住,对于正的十进制数,二进制数与其补码相同。

习　题　解　答

1.23　二进制补码中的__________(最低,最高)位是符号位。

解 ☞　二进制补码中的最高位(MSB)是符号位。

1.24　与二进制补码 10000000 相对应的带符号的十进制数为________。

解 ☞　按照图 1-13 所示步骤,二进制补码 10000000 等于十进制数-128。

1.25　01110000 对应于带符号的十进制数__________。

解 ☞　最高位为 0,表明该数为正数,并根据二-十进制转换的规则进行转换。01110000 等于带符号的十进制数$+112$。

1.26　带符号的十进制数$+75$的 8 位二进制补码表示为__________。

解 ☞　根据图 1-4 所示过程,十进制数$+75$的二进制补码和二进制值为 01001011。

1.27　二进制补码 11110001 的带符号的十进制数表示为__________。

解 ☞　根据图 1-13 所示过程,二进制补码 11110001 的带符号的十进制数表示为-15。

1.28　带符号的十进制数-35的 8 位二进制补码表示为__________。

解 ☞　根据图 1-12 所示过程，十进制数－35 的 8 位二进制补码表示为 11011101。

1.29　带符号的十进制数－100 的 8 位二进制补码表示为__________。

解 ☞　根据图 1-12 所示过程，十进制数－100 的 8 位二进制补码表示为 10011100。

1.30　带符号的十进制数＋20 的 8 位二进制补码表示为__________。

解 ☞　根据图 1-4 所示过程，十进制数＋20 的 8 位二进制补码和二进制值的表示为 00010100。

补　充　习　题

1.31　基数为 2 的数制被称为__________。

答案：二进制

1.32　基数为 10 的数制被称为__________。

答案：十进制

1.33　基数为 8 的数制被称为__________。

答案：八进制

1.34　基数为 16 的数制被称为__________。

答案：十六进制

1.35　一个二进制数字有时可简写或简称为__________。

答案：位

1.36　在下列两种情况，数 1101 应如何来读？(a)二进制　(b)十进制。

答案：(a)一，一，零，一　(b)一千一百零一

1.37　数 1010_2 的基数为__(a)__，且应读为__(b)__。

答案：(a) 2，(b) 一、零、一、零

1.38　将下列二进制数转换为其相应的十进制形式：

(a) 00001110，(b) 11100000，(c) 10000011，(d)10011010。

答案：(a) $00001110_2=14_{10}$，(b)$11100000_2=224_{10}$，(c) $10000011_2=131_{10}$，

(d) $10011010_2=154_{10}$。

1.39　$110011.11_2=$__________$_{10}$。

答案：51.75

1.40　$11110000.0011_2=$__________$_{10}$。

答案：240.1875

1.41　将下列十进制数转换为其相应的二进制形式：

(a) 32，(b) 200，(c) 170，(d) 258。

答案：(a) $32_{10}=100000_2$，(b) $200_{10}=11001000_2$，(c) $170_{10}=10101010_2$，

(d) $258_{10}=100000010_2$。

1.42　$40.875_{10}=$__________$_2$。

答案：101000.111

1.43　$999.125_{10}=$__________$_2$。

答案：1111100111.001

1.44　将下列十六进制数转换为其相应的十进制形式：

(a) 13AF，(b) 25E6，(c) B4.C9，(d) 78.D3。

答案：(a) $13AF_{16}=5039_{10}$，(b) $25E6_{16}=9702_{10}$，(c) $B4.C9_{16}=180.78515_{10}$，

(d) $78.D3_{16}=120.82421_{10}$。

1.45　将下列十进制数转换为其相应的十六进制形式：

(a) 3016，(b) 64881，(c) 17386.75，(d) 9817.625。

答案：(a) $3016_{10}=BC8_{16}$，(b) $64881_{10}=FD71_{16}$，(c) $17386.75_{10}=43EA.C_{16}$，

(d) $9817.625_{10}=2659.A_{16}$。

1.46　将下列十六进制数转换为其相应的二进制形式：

(a) A6， (b) 19， (c) E5.04， (d) 1B.78。

答案：(a) $A6_{16}=10100110_2$， (b) $19_{16}=11001_2$， (c) $E5.04_{16}=11100101.000001_2$，

(d) $1B.78_{16}=11011.01111_2$。

1.47 将下列二进制数转换为其相应的十六进制形式：

(a) 11110010， (b) 11011001， (c) 111110.000011， (d) 10001.11111。

答案：(a) $11110010_2=F2_{16}$， (b) $11011001_2=D9_{16}$， (c) $111110.000011_2=3E.0C_{16}$，

(d) $10001.11111_2=11.F8_{16}$。

1.48 采用二进制补码表示数时，最高位(MSB)是__________位。

答案：符号。

1.49 将下列带符号的十进制数转换为其相应的8位二进制补码表示形式：

(a) +13， (b) +110， (c) −25， (d) −90。

答案：(a) 00001101， (b) 01101110， (c) 11100111， (d) 10100110。

1.50 将下列二进制补码表示的数转换为其相应的带符号的十进制数形式：

(a) 01110000， (b) 00011111， (c) 11011001， (d) 11001000。

答案：(a) +112， (b) +31， (c) −39， (d) −56。

第二章　二 进 制 码

2.1　概述

由于数字电子电路的双稳特性,数字系统只能处理包含 0 和 1 的数码(即二进制码)。在第一章中已讨论了二进制码,还有几种其他的特殊二进制码,近几年在数字设备中起着独特的作用。这些二进制码都由 0 和 1 组成,但是它们的意义却各不相同。本章将详细说明其中几种二进制码,并介绍将它们转换为十进制形式的方法。在数字系统中,电子转换器(称为编码器和译码器)常用来进行码到码之间的转换。后面的内容将详细讲解把一种编码转换为另一种编码的过程。

2.2　加权二进制码

二进制码对于人们来说有些不易理解,例如将二进制数 10010110_2 转换为它的十进制数形式,则结果为:$10010110_2 = 150_{10}$,但是如不借助计算器,作这样的转换既费时又费力。

由二进制编码的十进制码(BCD)转换为十进制数就容易的多。图 2-1 所示为十进制数 0～9 对应的 4 位 BCD 码。从图中可以看出,BCD 码为加权二进制码。最高位的权值为 8,而最低位为 1。因而这种编码更严格地称为 8421BCD 码,其中 8421 即为 4 位二进制码各位的权值。还有其他几种 BCD 码,4 个位的值有不同的权重。由于最广泛使用的是 8421BCD 码,因而习惯上将其简称为 BCD 码。

十进制	BCD			
	8s	4s	2s	1s
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

图 2-1　8421 BCD 码

如何以 BCD 码来表示十进制数 150 呢?图 2-2(a)说明了将十进制数转换为 BCD(8421)码的极其简单的方法。将十进制数的每一位的转换为其相应 4 位 BCD 码(见图 2-1),那么十进制数 150 就等于 BCD 码 00101010000。

十进制	1	5	0
	↓	↓	↓
BCD	0001	0101	0000

(a) 十进制码到 BCD 码转换

BCD	1001	0110	.
	↓	↓	
十进制	9	6	.

(b) BCD 码到十进制码转换

十进制	3	2	.	8	4
	↓	↓		↓	↓
BCD	0011	0010	.	1000	0100

(c) 小数十进制码到 BCD 码转换

BCD	0111	0001	.	0000	1000
	↓	↓		↓	↓
十进制	7	1	.	0	8

(d) 小数 BCD 码到十进制码转换

图 2-2

将 BCD 码转换为十进制数同样十分简单。图 2-2(b)表明了这一方法。首先 BCD 码 10010110 从二进制小数点开始按每 4 位一组进行划分,每一组由其相对应的十进制数位表示,记在下方。那么 BCD 码 10010110 就等于十进制数 96。

图 2-2(c)所示为十进制小数转换为 BCD 码的过程。每位十进制数分别以 BCD 码表示,

十进制小数点直接移植下来为二进制小数点。由图 2-2(c)可知,十进制数 32.84 等于 BCD 码 00110010.10000100。

图 2-2(d)中显示了 BCD 码表示的小数 01110001.00001000 转换为相应十进制数的过程。首先从二进制数的小数点开始将 BCD 码按 4 位一组进行划分,然后把每一组二进制数都转换为相应的十进制数,而二进制数的小数点即为十进制数的小数点。由图 2-2(d)可知 BCD 码 01110001.00001000与十进制数 71.08 等价。

现在考虑一下如何将 BCD 码转换为二进制码。这一过程分为 3 步,如图 2-3 所示。第 1 步从二进制小数点开始将 BCD 码按 4 位一组进行划分,且每一组都转换为相应的十进制数。图 2-3 中第 1 步表明二进制码 000100000011.0101 转换为十进制数 103.5。

经过图 2-3 中的第 2 步,十进制数的整数部分转换为二进制数。在第 2 步中 103_{10} 经重复被 2 除,转换为 1100111_2。

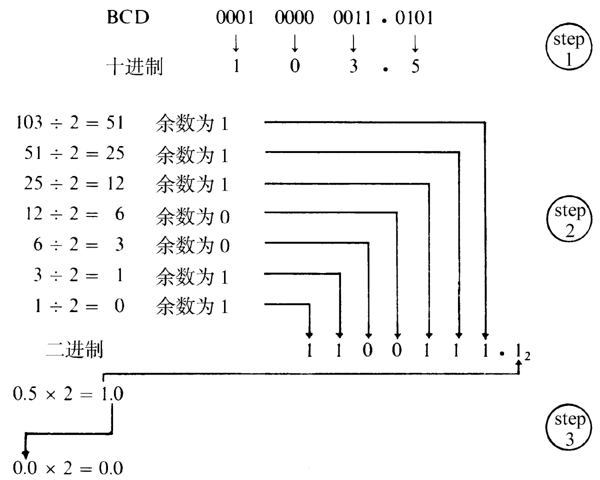


图 2-3 BCD 码转换为二进制数

图 2-3 中的第 3 步说明了将十进制数小数部分转换为二进制数的过程。在第 3 步中经重复被 2 乘,0.5_{10} 转换位 0.1_2。最后将二进制数的整数部分和小数部分连在一起,那么 BCD 码 000100000011.0101 就等于二进制数 1100111.1。

注意:用二进制码表示的数在书写上比 BCD 码方便得多,正如图 2-3 的转换所示,二进制数中的 0 和 1 较少。BCD 码尽管较长,在数字系统中能方便的转换为十进制。

图 2-4 所示为二进制数 10001010.101 转换为相应的 BCD(8421)码的过程。首先,将二进制数转换为十进制形式,则二进制数 10001010.101 可转化成 138.625_{10};然后,将十进制数的每一位都表示成 BCD 码,则由图 2-4 可知,十进制数 138.625 可转换为 BCD 码

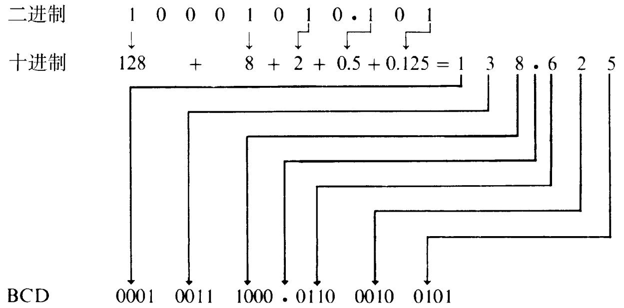


图 2-4 二进制转换为 BCD 码

000100111000.011000100101。那么经整个转换过程，二进制数 10001010.101 等于 BCD 码 000100111000.011000100101。

"二进制编码的十进制数(BCD)"是一通用术语，可以用于其他几种编码中任何一种。最常用的 BCD 码是 8421 码，其中 8,4,2 和 1 代表 4 位一组中每位的权值。图 2-5 中列出了其他加权 4 位 BCD 码。

十进制	8421				BCD				4221				BCD				5421				BCD			
	8s	4s	2s	1s	8s	4s	2s	1s	4s	2s	2s	1s	4s	2s	2s	1s	5s	4s	2s	1s	5s	4s	2s	1s
0					0	0	0	0					0	0	0	0					0	0	0	0
1					0	0	0	1					0	0	0	1					0	0	0	1
2					0	0	1	0					0	0	1	0					0	0	1	0
3					0	0	1	1					0	0	1	1					0	0	1	1
4					0	1	0	0					1	0	0	0					0	1	0	0
5					0	1	0	1					0	1	1	1					1	0	0	0
6					0	1	1	0					1	1	0	0					1	0	0	1
7					0	1	1	1					1	1	0	1					1	0	1	0
8					1	0	0	0					1	1	1	0					1	0	1	1
9					1	0	0	1					1	1	1	1					1	1	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
12	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
13	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1

图 2-5　3 种权值的 BCD 码

习　题　解　答

2.1　BCD3 个字母代表____________________。

解 ☞　字母 BCD 表示二进制编码的十进制数。

2.2　将下列 8421BCD 码表示为十进制形式：

(a) 1010　(b) 00010111　(c) 10000110　(d) 010101000011　(e) 00110010.10010100　(f) 0001000000000000.0101。

解 ☞　以上 BCD 码的十进制形式如下：

(a) 1010＝错误(无此 BCD 码)　(b) 00010111＝17

(c) 10000110＝86　(d) 010101000011＝543

(e) 00110010.10010100＝32.94　(f) 0001000000000000.0101＝1000.5

2.3　将以下十进制转换为相应的 8421BCD 码：

(a) 6,(b) 13,(c) 99.9,(d)872.8,(e) 145.6,(f) 21.001。

解 ☞　以上十进制数的 BCD 码形式如下：

(a) 6＝0110,

(b) 13＝00010011,

(c) 99.9＝10011001.1001,

(d) 13＝00010011,

(e) 145.6＝000101000101.0110,

(f) 21.001＝00100001.000000000001

2.4　将下列二进制数表示为 8421 码形式：

(a) 10000　(b) 11100.1　(c) 101011.01　(d) 100111.11

(e) 1010.001　(f) 1111110001。

解 ☞ 以上二进制数的 BCD 码形式如下：

(a) 10000＝00010110

(b) 11100.1＝00101000.0101

(c) 101011.01＝01000011.00100101

(d) 100111.11＝00111001.01110101

(e) 1010.001＝00010000.000100100101

(f) 1111110001＝0001000000001001

2.5 将下列 8421BCD 码转换成相应的二进制数：

(a) 00011000　(b) 01001001　(c) 0110.01110101　(d) 00110111.0101

(e) 01100000.00100101　(f) 0001.001101110101

解 ☞ 以上 BCD 码的二进制数形式如下：

(a) 00011000＝10010　(b) 01001001＝110001　(c) 0110.01110101＝110.11

(d) 00110111.0101　(e) 01100000.00100101　(f) 0001.001101110101

2.6 列出 3 种加权的 BCD 码。

解 ☞ 这 3 种 BCD 码为：

(a) 8421BCD 码　(b) 4221BCD 码　(c) 5421BCD 码。

2.7 十进制数 98 以 4221BCD 码表示为__________。

解 ☞ 十进制数 98 以 4221BCD 码表示为 11111110。

2.8 十进制数 75 以 5421BCD 码表示为__________。

解 ☞ 十进制数 75 以 5421BCD 码表示为 10101000。

2.9 哪一种数码(BCD 码还是二进制码)较易转换为十进制数？

解 ☞ BCD 码更容易转换为十进制数。

2.3 不加权的二进制码

有一些不加权的二进制码，它们的每一位都没有具体的权值。余 3 码 和格雷码就是两种不加权二进制码。

十进制	8421	BCD	XS3	BCD
	10s	1s	10s	1s
0		0000	0011	0011
1		0001	0011	0100
2		0010	0011	0101
3		0011	0011	0110
4		0100	0011	0111
5		0101	0011	1000
6		0110	0011	1001
7		0111	0011	1010
8		1000	0011	1011
9		1001	0011	1100
10	0001	0000	0100	0011
11	0001	0001	0100	0100

图 2-6　余 3 码

余 3 码(XS3)与 8421BCD 码有关系，是因为它的二进制编码十进制数性质，换句话说，XS3 码的每个 4 位组都等于一个具体的十进制数。图 2-6 中 XS3 码和 8421 BCD 码以及对应的十进制数一起列出。从中可以看出 XS3 码总是比 8421 BCD 码大 3。

考虑十进制数 62 如何以 XS3 码表示。图 2-7(a)中的第 1 步为十进制数的每 1 位都分别加 3，第 2 步为将 9 和 5 转换为各自的 8421 BCD 码。则十进制数 62 的 BCD XS3 码形式为 10010101。

将 8421 BCD 码 01000000 转换为它的 XS3 码形式，图 2-7(b)表示出其简单过程。首先从二进制小数点开始按 4 位 1 组对 BCD 码进行划分，第 1 步每个 4 位组加上 3(二进制数 0011)，和即为 XS3 码。由图 2-7(b)可知与 8421 BCD 码 01000000 相对应的 BCD XS3 码为 01110011。

下面讨论如何将 XS3 码转换为十进制数。图 2-7(c)所示为 XS3 码 10001100 的十进制数

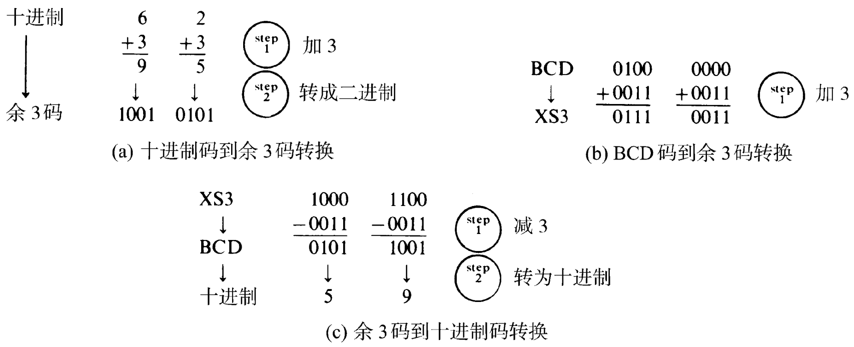


图 2-7

表示。首先将 XS3 码从二进制小数点开始按 4 位 1 组进行划分，接下来第 1 步每个 4 位组减去 3(二进制数 0011)，所得结果即为 8421 BCD 码。第 2 步将 8421 BCD 码的每个 4 位组转换为十进制数。根据图 2-7(c)所示过程，XS3 码 10001100 等于十进制数 59。

XS3 码在算术电路中具有重要价值，其价值在于易于求补码，如将 XS3 码取反(0 变 1，1 变 0)，所得 4 位编码数为 9 的补码。加法器可使用 9 的补码进行减法运算。

格雷码是另一种不加权二进制码，它不属于 BCD 类型的编码。在图 2-8 中列出了格雷码及相应的二进制码和十进制数对比表。仔细观察格雷码，可以发现计数每次加 1，仅有 1 位改变状态。从十进制数 7 到十进制数 8 这两行的变化可看到：二进制中 4 位的状态都发生了变化(由 0111 变为 1000)，在同一行的格雷码中仅最左位的状态改变(由 0100 变为 1100)。在数字电子学的一些应用当中，格雷码的这种每次加一编码只改变一位的特点十分重要。

考虑如何将二进制码表示成格雷码形式。图 2-9(a)表示二进制数 0010 转换为格雷码的过程。从二进制码的最高位开始，如向下箭头指示将其作为格雷码的最左位，并将权值为 8 的位与下一位(权值为 4)相加，和为 0(0＋0＝0)，被记做格雷码从左边数第 2 位。权值为 4 的位又与二进制数中权值为 2 的位相加，和为 1(0＋1＝1)并被记做格雷码从左边数第 3 位。权值为 2 的位最后又与二进制数中权值为 1 的位相加，和为 1(1＋0＝1)并被记做格雷码最右位。那么二进制码 0010 与格雷码 0011 相对应，这一结果可从图 2-8 表中的十进制数 2 的一行得到验证。

十进制码	二进制	格雷码	十进制码	二进制	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

图 2-8　格雷码

将任何一种二进制编码转换成格雷码都应遵从以下规则：

1. 格雷码的最左位与二进制码相同。
2. 将最高位与右边相邻位相加，并将和记入格雷码下一行中(忽略进位)。
3. 继续逐一将各位与其右边位相加并将和记下，直至最低位。
4. 格雷码和二进制数的位数永远相同。

应用以上规则可将二进制数 10110 转换为格雷码。由图 2-9(b)可知,二进制数的最高位(1)被记下作为格雷码的 1 位,权值为 16 的位与权值为 8 的位相加,和为 1(1+0=1)被记做从左边数第 2 位格雷码;接下来权值为 8 的位与权值为 4 的位相加,和为 1(0+1=1)被记做从左边数第 3 位格雷码;再下来权值为 4 的位与权值为 2 的位相加,将进位去掉则和为 0(1+1=10),那么 0 即被记做格雷码中从右边数第 2 位;最后权值为 2 的位与权值为 1 的位相加,和为 1(1+0=1),被记入格雷码中(最右位),到此转换过程结束。图 2-9(b)表明二进制数 10110 转换成格雷码 11101。

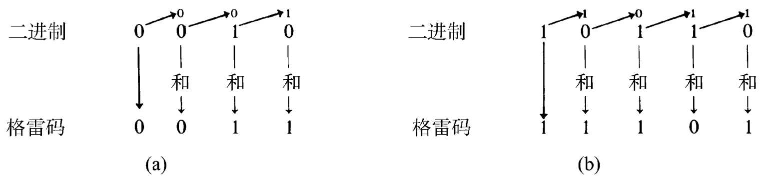


图 2-9　二进制数到格雷码的转换

图 2-10(a)中详细说明了将格雷码 1001 转换为二进制码的过程。首先,最左位(1)移下来作为二进制行中权值为 8 的位,此数又如箭头所指移到下一位格雷码的上方,并将二者相加,和为 1(1+0=1)记作二进制数权值为 4 的位,则此位值又与下一位格雷码相加,和为 1(1+0=1)记为二进制数的权值为 2 的位。最后再将权值为 2 的位(1)与格雷码最右位相加,把进位去掉可得和为 0(1+1=10),并记作二进制数的 1 权值位。由图 2-10(a)可知,格雷码 1001 转换成 1110 的二进制数,这一转换结果可由图 2-8 中的十进制数 14 一行中得到验证。

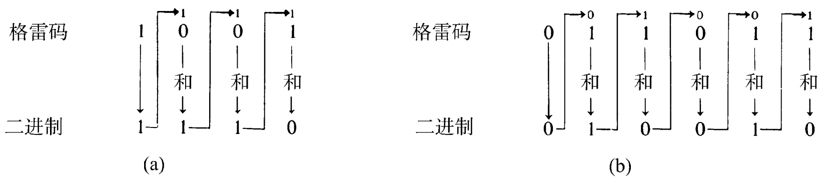


图 2-10　格雷码-二进制转换

将 6 位格雷码 011011 转换为 6 位二进制数。从最左位开始按照图 2-10(b)中的箭头指向进行运算。在这一过程中,请注意计算 1+1=10 时,将进位 1 忽略,而只将 0 记入二进制数行中。由图 2-10(b)可知格雷码 011011 与二进制数 010010 相等。

习　题　解　答

2.10　由字母和数字组成的 XS3 代表________码。

解 ☞　XS3 代表余 3 码。

2.11　________(8421,XS3)BCD 码是一种不加权码。

解 ☞　XS3 BCD 码是一种不加权码。

2.12　________(格雷码,XS3)码是 BCD 码。

解 ☞　XS3 码是 BCD 码。

2.13　将下列十进制数转换为 XS3 码形式:

(a) 9,(b) 18,(c)37,(d) 42,(e)650。

解 ☞　以上十进制数相对应的 XS3 码形式如下:

(a) 9=1100,　(b) 18=01001011,　(c) 37=01101010,　(d) 42=01110101,

(e) 650=100110000011。

2.14 将下列 8421 BCD 码转换为 XS3 码形式：

(a) 0001，(b) 0111，(c) 01100000，(d) 00101001，(e) 10000100。

解 ☞ 以上 8421BCD 码相对应的 XS3 码形式如下：

(a) 0001=0100，(b) 0111=1010，(c) 01100000=10010011，

(d) 00101001=01011100，(e) 1000010010110111。

2.15 将下列 XS3 码以十进制数形式表示：

(a) 0011，(b) 01100100，(c) 11001011，(d) 10011010，(e) 10000101。

解 ☞ 以上 XS3 码的十进制数表示为：

(a) 0011=0，(b) 01100100=31，(c) 11001011=98，(d) 10011010=67，(e) 10000101=52。

2.16 ________(格雷码,XS3)码通常用于数字电路中的算术运算。

解 ☞ XS3 码通常用于数学运算。

2.17 将下列二进制码转换为格雷码：

(a) 1010，(b) 10000，(c) 10001，(d) 10010，(e) 10011。

解 ☞ 以上二进制码的格雷码表示形式为：

(a) 1010=1111，(b) 10000=11000，(c) 10001=11001，(d) 10010=11011，

(e) 10011=11010。

2.18 将下列格雷码转换为二进制形式：

(a) 0100，(b) 11111，(c) 10101，(d) 110011，(e) 011100。

解 ☞ 以上格雷码的二进制形式如下：

(a) 0100=0111，(b) 11111=10101，(c)10101=11001，

(d) 110011=100010，(e) 011100=010111。

2.19 格雷码最重要的特性是，当计数每增加 1 时，________(不只,仅)有 1 位状态改变。

解 ☞ 格雷码最重要的特性是，当计数每增加 1 时，仅有 1 位状态改变。

2.4 字母数字码

这里指出了用二进制码中的 0 和 1 来表示不同的数，对各位编码还可用字母、数字以及标点符号表示。一种这样的 7 位编码即是美国信息交换标准码(ASCII,读做“阿瑟克”)，如图 2-11所示。从图中可以看出字母 A 表示为 1000001，而 B 的 ASCII 码为 1000010。ASCII 码广泛应用于小型计算机系统，可将键盘上的符号转换为计算机语言。在图 2-11 的表中未列出 ASCII 码的全部组合。

字母数字码是指可同时表示字母和数字的编码。另一种广泛使用的字母数字码是扩展二进制编码的十进制交换码(EBCDIC,读做“埃伯斯迪克”)。图 2-11 中列出了部分 EBCDIC 码，从中可以看出由于 EBCDIC 码为 8 位编码，它比 ASCII 码可表示更多的变量和符号。EBCDIC码常用于大型计算机系统。

ASCII 码是一种现代字母数字编码，用于与微型计算机之间读取和输入信息。可利用 ASCII 码与计算机键盘、打印机和视频显示设备接口，ASCII 码已成为微型计算机标准输入/输出编码。

有可能遇到的其他字母数字码还有：

1. 7 位 BCDTC 码(二进制编码的十进制交换码)。
2. 8 位 EBCDIC(扩展二进制编码的十进制交换码)。用于 IBM 的一些设备上。
3. 7 位电动打字机。用于控制 IBM 电动打字机的旋转小球。
4. 12 位霍勒内斯码。用于纸带穿孔。

字符	ASCII	EBCDIC	字符	ASCII	EBCDIC
Space	010 0000	0100 0000	A	100 0001	1100 0001
!	010 0001	0101 1010	B	100 0010	1100 0010
″	010 0010	0111 1111	C	100 0011	1100 0011
#	010 0011	0111 1011	D	100 0100	1100 0100
$	010 0100	0101 1011	E	100 0101	1100 0101
%	010 0101	0110 1100	F	100 0110	1100 0110
&	010 0110	0101 0000	G	100 0111	1100 0111
′	010 0111	0111 1101	H	100 1000	1100 1000
(	010 1000	0100 1101	I	100 1001	1100 1001
)	010 1001	0101 1101	J	100 1010	1101 0001
*	010 1010	0101 1100	K	100 1011	1101 0010
+	010 1011	0100 1110	L	100 1100	1101 0011
,	010 1100	0110 1011	M	100 1101	1101 0100
-	010 1101	0110 0000	N	100 1110	1101 0101
.	010 1110	0100 1011	O	100 1111	1101 0110
/	010 1111	0110 0001	P	101 0000	1101 0111
0	011 0000	1111 0000	Q	101 0001	1101 1000
1	011 0001	1111 0001	R	101 0010	1101 1001
2	011 0010	1111 0010	S	101 0011	1110 0010
3	011 0011	1111 0011	T	101 0100	1110 0011
4	011 0100	1111 0100	U	101 0101	1110 0100
5	011 0101	1111 0101	V	101 0110	1110 0101
6	011 0110	1111 0110	W	101 0111	1110 0110
7	011 0111	1111 0111	X	101 1000	1110 0111
8	011 1000	1111 1000	Y	101 1001	1110 1000
9	011 1001	1111 1001	Z	101 1010	1110 1001

图 2-11　字母数字码

习　题　解　答

2.20　可同时表示数字和字母的二进制码称为__________码。

解 ☞　字母数字码可同时表示数字和字母。

2.21　下列缩写表示什么？

(a) ASCII　　(b) EBCDIC

解 ☞　(a) ASCII 为美国信息交换标准码；

(b) EBCDIC 为扩展二进制编码的十进制交换码。

2.22　参看图 2-12。如在打字机状的键盘上按下 K，ASCII 键盘一编码器的输出为__________。

解 ☞　在键盘上按下 K 时，ASCII 键盘一编码器的输出为 1001011。

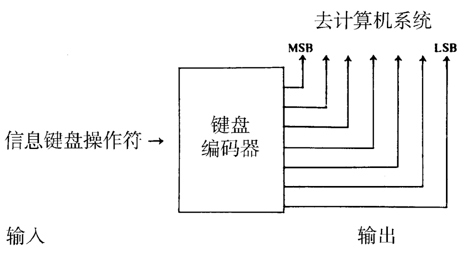


图 2-12　ASCII 键盘-编码系统

2.23　参看图 2-12。列出需输入信息“pay(支付) $1000.00”时，ASCII 键盘一编码器的输出。

解 ☞　以上信息中字符串的 ASCII 码如下：

(a) P = 1010000　　(b) A = 1000001

(c) Y= 1011001　　(d) Space = 0100000

(e) $ = 0100100　　(f) 1 = 0110001

(g) 0 = 0110000　　(h) 0 = 0110000

(i) 0 = 0110000　　(j) . = 0101001

(k) 0 = 0110000　　(l) 0 = 0110000

2.24 ＿＿＿＿＿码是用于纸片穿孔卡的 12 位字母数字码。

解 ☞ 12 位霍勒内斯码常用于纸片穿孔卡。

2.25 微型计算机输入/输出的工业标准是 7 位＿＿＿＿＿码。

解 ☞ 微型计算机输入/输出的工业标准是 7 位 ASCII 码(美国信息交换标准码)。

补 充 习 题

2.26 将一种编码转换为另一种的电子设备被称为＿(a)＿或＿(b)＿。

答案:(a) 编码　　(b) 解码

2.27 将下列 8421 BCD 码转换为十进制数:

(a) 10010000,(b) 11111111,(c) 0111.0011,(d) 01100001.00000101。

答案:(a) 10010000＝90,　(b) 11111111 错误(无此 BCD 码),

(c) 0111.0011＝7.3,(d) 01100001.00000101＝61.05。

2.28 将下列十进制数转换为 8421 BCD 码:

(a) 10,(b) 342,(c) 679.8,(d) 500.6。

答案:(a) 10＝00010000,　(b) 342＝001101000010,

(c) 679.8＝011001111001.1000,　(d) 500.6＝010100000000.0110。

2.29 将下列二进制码以 8421 BCD 码形式表示:

(a) 10100,(b) 11011.1,(c) 100000.01,(d) 111011.11。

答案:(a) 10100＝00100000,　(b) 11011.1＝00100111.0101,

(c) 100000.01＝00110010.00100101,　(d) 111011.11＝01011001.01110101。

2.30 将下列 8421 BCD 码以二进制码形式表示:

(a) 01011000,(b) 000100000000,(c) 1001.01110101,(d) 0011.0000011000100101。

答案:(a) 01011000＝111010,(b) 000100000000＝1100100,

(c) 1001.01110101＝1001.11,(d) 0011.0000011000100101＝110001。

2.31 十进制数 74 的 4221 BCD 码表示形式为＿＿＿＿＿。

答案:11011000

2.32 十进制数 3210 的 5421 BCD 码表示形式为＿＿＿＿＿。

答案:0011001000010000

2.33 BCD 码在转换为＿＿＿＿＿(二进制,十进制)数时十分方便。

答案:十进制

2.34 "余 3 码"常简记为＿＿＿＿＿。

答案:XS3

2.35 将下列十进制数转换为 XS3 码:

(a) 7,(b) 16,(c) 32,(d) 4089。

答案:(a) 7＝1010,(b) 16＝01001001,(c) 32＝01100101,(d) 4089＝0111001110111100。

2.36 将下列 XS3 码转换为十进制数:

(a) 1100,(b) 10101000,(c) 100001110011,(d) 0100101101100101。

答案:(a) 1100＝9,(b) 10101000＝75,(c) 100001110011＝540,(d) 0100101101100101＝1832。

2.37 将下列纯二进制码表示为格雷码形式:

(a) 0110,(b) 10100,(c) 10101,(d) 10110。

答案:(a) 0110＝0101,(b) 10100＝11110,(c) 10101＝11111,(d) 10110＝11101。

2.38 将下列格雷码表示为纯二进制码形式:

(a) 0001,(b) 11100,(c) 10100,(d) 10101。

答案:(a) 0001＝0001,(b) 11100＝10111,(c) 10100＝11000,(d) 10101＝11001。

2.39 EBCDIC 是一种常用于 IBM 设备中的＿＿＿＿＿位字母数字码。

答案:8

2.40 微型计算机输入/输出的工业标准是 7 位＿＿＿＿＿码。

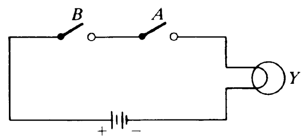
答案:ASCII

第三章　基本逻辑门

3.1　概述

逻辑门电路是数字系统的基本组成模块，它处理二进制码，因此又称为二进制逻辑门电路。逻辑门电路所使用的不是高电平就是低电平。在本书中，高电平即为二进制码 1，低电平为二进制码 0。逻辑门是由电子电路实现的，仅对高电平（称为 1）或低电平（称为 0）产生响应。

3 种基本逻辑门的使用构成了所有数字系统，它们分别为与门、或门和非门。本章将讨论这 3 种非常重要的基本逻辑门和它们的功能。



(a) 使用开关的与电路

输入开关		输出灯
B	A	Y
开	开	不亮
开	闭	不亮
闭	开	不亮
闭	闭	亮

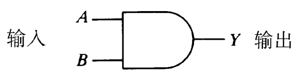
(b) 真值表

图 3-1

3.2　与门

与门又称为“全是或都不是”门，图 3-1(a)为与门的工作原理图。只当两个输入开关（A 和 B）都闭合时灯泡（Y）才亮。开关 A 和 B 所有可能的动作组合方式如图 3-1(b)所示，此表即被称为真值表，由表可知只有当两个输入都闭合时才有输出，真值表所示输出（Y）被允许(灯亮)。

图 3-2(a)所示为与门的标准逻辑符号，其中 A、B 为输入，Y 为输出。此符号是 2 输入与门的符号，其真值表见图 3-2(b)。表中所示的输入为二进制数(位)，注意到仅当 2 输入 A 和 B 都为 1 时，输出为 1。这里认为二进制数 0 为低电平或接地，1 为高电平。本书中若集成电路（IC，integrated circuit）属于 TTL 系列，则高电平是指＋5V。



(a) 与门符号

输入		输出
B	A	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

0 为低电平
1 为高电平

(b) 与门真值表

图 3-2

布尔代数是一种符号逻辑的运算形式，表示逻辑门电路如何工作。布尔表达式是一种表明逻辑电路的运行情况的简写方法。图 3-2 中电路的布尔表达式为

$$A \cdot B = Y$$

布尔表达式读作“A 与 B（·指与）等于输出 Y”，其中点（·）是布尔代数中逻辑函数“与”，而不是代数中的乘法运算。

有时去掉表达式中的点（·），则 2 输入与门的布尔表达式为

$$AB = Y$$

读做“A 与 B 等于输出 Y”。

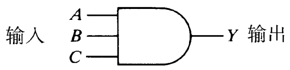
逻辑电路经常使用 3 个变量。图 3-3(a)表示了 3 输入与门的布尔表达式，其中 A、B 和 C 为输入变量，Y 为输出变量。其逻辑符号见图 3-3(b)，符号左边为 3 个输入（A、B、C），右边为单输出（Y）。输入变量 A、B、C 的 8 种组合示于图 3-3(c)的真值表中，第 1 行为二进制数 000，逐次递增为 001，011，100，101，110，最后是 111，注意：只有当所有输入都为 1 时，才使与门允许输出为 1。

比较图 3-2(b)和 3-3(c)的真值表可知，在每个表中仅当与门的全部输入都是高电平时，惟一的输出才为高电平。设计者由每个门电路的状态判断哪一个能执行所需的任务。

布尔代数的运算法则决定了与门如何工作，与运算的一般法则为

$A \cdot B \cdot C = Y$

(a) 3变量布尔表达式



(b) 3输入与门符号

输入			输出
C	B	A	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

(c) 3变量真值表

图 3-3

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A \cdot 1 = A$$

$$A \cdot A = A$$

$$A \cdot \overline{A} = 0$$

由图 3-2 中的真值表可验证以上法则的正确性，它们是与运算在任何时候都成立的基本定律，与门电路同样遵从这些法则。注意：最后一条法则中，变量上方的一横表示非 A，或 A 取反。

习　题　解　答

3.1　写出 4 输入与门的布尔代数表达式。

解 ☞　$A \cdot B \cdot C \cdot D = Y$ 或 $ABCD = Y$

3.2　画出 4 输入与门的逻辑符号。

解 ☞　见图 3-4。

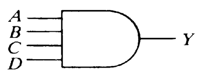


图 3-4　4 输入与门的逻辑符号

3.3　画出 4 输入与门的真值表。

解 ☞

输入				输出	输入				输出
D	C	B	A	Y	D	C	B	A	Y
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	0	1	1	0	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	1	0	1	1	1	1	1

3.4　图 3-5 中输出脉冲序列的波形是什么？

解 ☞　图 3-5 中的输出波形与输入 A 的波形完全相同。

脉冲 $a=1$　　脉冲 $c=0$　　脉冲 $e=1$　　脉冲 $g=1$

脉冲 $b=0$　　脉冲 $d=1$　　脉冲 $f=0$　　脉冲 $h=0$

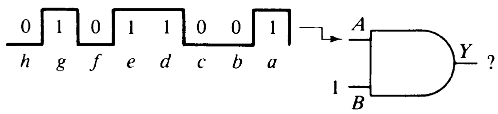


图 3-5　求输出脉冲序列

3.5　图 3-6 中输出脉冲序列波形如何？请注意输入端为两个脉冲序列相与。

解 ☞　图 3-6 中的输出脉冲序列如下：

脉冲 $a=0$　　脉冲 $c=0$　　脉冲 $e=0$　　脉冲 $g=0$

脉冲 $b=1$　　脉冲 $d=1$　　脉冲 $f=0$　　脉冲 $h=0$

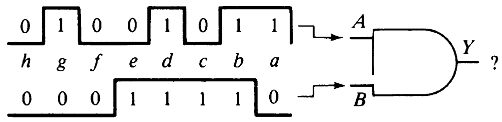
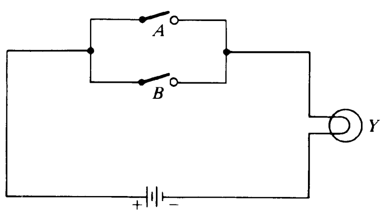


图 3-6　求输出脉冲序列

3.3　或门

或门又称为“任何或全部”门。图 3-7(a)说明了或门的工作原理。当开关 A 或 B 中有 1 个闭合时，灯泡(Y)就亮；A、B 都闭合时，灯泡也会亮；而 A、B 都断开时，则灯泡不亮。开关动作的所有组合方式如图 3-7(b)所示，真值表表明了开关和灯泡回路之间的或运算关系，当任一或全部输入开关闭合时，或门就允许有输出(灯泡亮)。

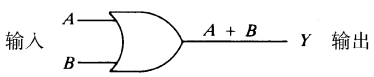


(a) 使用开关的或电路

输入开关		输出灯
B	A	Y
开	开	不亮
开	闭	亮
闭	开	亮
闭	闭	亮

(b) 真值表

图 3-7



(a) 或门符号

输入		输出
B	A	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

0 为低电平
1 为高电平

(b) 或门的真值表

图 3-8

或门的标准逻辑符号示于图 3-8(a)，注意该符号的形状。或门的两个输入记为 A 和 B，输出记为 Y。或运算函数的布尔代数简写表达式为 $A+B=Y$，其中加号(＋)表示布尔代数中的或。表达式($A+B=Y$)读作 A 或(＋为或) B 等于输出 Y。应当注意加号不是做普通代数中的加法运算。

图 3-8(b)是 2 输入或门的真值表，输入变量(A 和 B)在表的左侧，输出(Y)为右侧一列。只要任一或全部输入为 1，或门就为允许状态(输出为 1)。同前面一样，在真值表中 0 表示低(接地)电平，真值表中 1 表示高电平(＋5V)。

图 3-9(a)为 3 输入或门的布尔表达式，读做“输出 Y 等于 A 或 B 或 C”，在此加号也代表或运算函数。

3 输入或门的逻辑符号如图 3-9(b)所示，其中符号的左侧为输入 A、B、C，右侧为输出 Y。能实现或运算功能的电

路就以这个符号来表示。

3 输入或门的真值表见图 3-9(c)。表的左边是输入变量(A、B、C),右边是输出(Y)。任何时候只要任一输入为 1,则输出为 1。

由图 3-8(b)和 3-9(c)两个或门真值表可知,仅当全部输入都为低电位时,或门的输出才为低电平。设计者可根据各门电路的输出情况,确定哪一个门电路能完成所需的任务。

布尔代数的运算法则规定了或门的运算。或运算的基本法则为

$$A+0=A$$

$$A+1=1$$

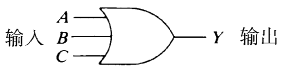
$$A+A=A$$

$$A+\overline{A}=1$$

由图 3-8 的真值表可验证以上定律。这些基本定律对于或运算在任何时候都是成立的。其中最后一个变量上的一横表示非 A,或 A 取反。

$A+B+C=Y$

(a) 3变量布尔表达式



(b) 3输入或门的符号

输入			输出
C	B	A	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

(c) 3变量真值表

图 3-9

习　题　解　答

3.6　写出 4 输入或门的布尔代数表达式。

解 ☞　　$A+B+C+D=Y$

3.7　画出 4 输入或门的逻辑符号。

解 ☞　见图 3-10。

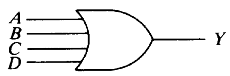


图 3-10　4 输入或门的逻辑符号

3.8　画出 4 输入或门的真值表。

解 ☞

输入				输出	输入				输出
D	C	B	A	Y	D	C	B	A	Y
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	1	1	0	0	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	0	1
0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1	0	0	1
0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3.9　图 3-11 中输出脉冲序列的波形如何？

解 ☞　图 3-11 中的输出波形与输入 A 的波形完全相同。

脉冲 $a=1$　　脉冲 $c=1$　　脉冲 $e=1$　　脉冲 $g=0$
脉冲 $b=0$　　脉冲 $d=0$　　脉冲 $f=1$

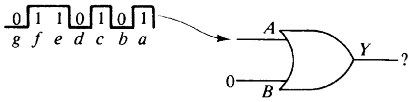


图 3-11　求输出脉冲序列波形

3.10　图 3-12 中输出脉冲序列波形如何？注意输入端为两个脉冲序列相或。

解 ☞　图 3-12 中的输出脉冲序列如下：

脉冲 $a=1$　　脉冲 $c=0$　　脉冲 $e=1$　　脉冲 $g=0$
脉冲 $b=1$　　脉冲 $d=1$　　脉冲 $f=1$　　脉冲 $h=1$

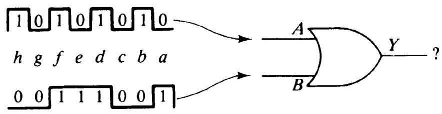
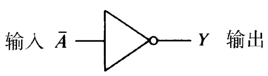


图 3-12　求输出脉冲序列

3.4　非门

非门又称为反相器。非门，即反相器不同于一般门电路，它只有 1 个输入和 1 个输出。图 3-13(a)表明了反相器，即非门的逻辑符号。



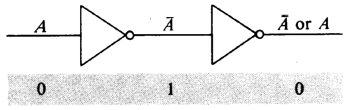
(a) 非门符号

输入	输出
A	Y
0 1	1 0

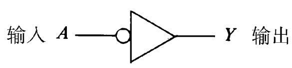
(b) 非门真值表

$$A=\bar{A}$$

(c) 非的布尔表达式



(d) 双反相器



(e) 反相器的另一种符号

图 3-13

转换过程很简单。图 3-13(b)为非门的真值表，输入总是被取反。若输入是 0，则非门电路求其补码或取反，得 1；若非门的输入是 1，则电路求其补码为 0。在此，反相又可称为求补，或求反，这 3 个概念的含义相同。

取反的布尔表达式见图 3-13(c)，表达式 $A=\overline{A}$，读作 A 等于 A 非，A 上的一横是指对 A 取反。图 3-13(d)说明使用两个反相器的结果如何，布尔表达式写于反相器间横线的上方。由图 3-13(d)可知，输入 A 经反相为 $\overline{A}$（A 非），然后 $\overline{A}$ 又反相为 $\overline{\overline{A}}$（A 非非），二次反相 A（$\overline{A}$）等于原来的 A。在反相器下方的阴影部分里，输入为 0，0 取反为 1，1 再取反又为 0。数字信号经过两个反相器后，将恢复为原来的形式。

图 3-13(e)中所示为非门或反相器的另一种逻辑符号。表示反相的圆圈可在输入端，也可