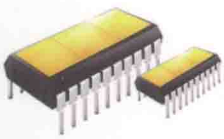
数字电子技术

——理论与实践一体化教程

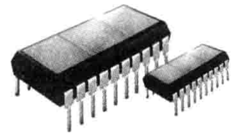


高职电子类
精品教材

主编　江　力

SHUZI DIANZI JISHU
—LILUN YU SHIJIAN YITIHUA JIAOCHENG

中国科学技术大学出版社



高职电子类
精品教材

数字电子技术
——理论与实践一体化教程

SHUZI DIANZI JISHU
—LILUN YU SHIJIAN YITIHUA JIAOCHENG

主　编　江　力
副主编　严　萍　张艳艳
参　编　张亚芳　夏咏梅
　　　　余蓓敏　李玉秋

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书以实践推进式模式进行内容安排，将电路实例引入教学，使理论与实践更加紧密地结合，在合理安排理论教学的同时凸显数字电子技术的实践性。在实验器材有限的条件下，适当引入仿真，使教学的实施更加容易。在以培养“高素质、高技能型人才”为目标的高职高专教育中，彰显独特的教学模式，开拓高职教育的新模式。

本书主要内容包括：逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形产生和整形电路、D/A 和 A/D 转换电路、半导体存储器等。在教学内容上适当引入 EWB 仿真，每章后面都设有小结和习题。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术：理论与实践一体化教程/江力主编. —合肥：中国科学技术大学出版社，2012.1

ISBN 978-7-312-02977-6

Ⅰ.数…　Ⅱ.江…　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(2012)第 002710 号

出版　中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号，邮编：230026
网址：http://press.ustc.edu.cn

印刷　安徽江淮印务有限责任公司

发行　中国科学技术大学出版社

经销　全国新华书店

开本　787 mm×1092 mm　1/16

印张　16.25

字数　415 千

版次　2012 年 1 月第 1 版

印次　2012 年 1 月第 1 次印刷

定价　28.00 元

前　言

为了适应高等职业教育的改革，本书的编写以2010年安徽省省级质量工程项目“实践推进式高职电子技术教学模式的研究”为主旨，内容安排上集理论、仿真、实验和实训于一体，希望以仿真、实验和实训给电子技术的教学带来理论具体化、概念形象化、功能多样化的“电子技术”课程教学的新面貌。

本书是2010年安徽省省级质量工程（教学研究项目）“实践推进式高职电子技术教学模式的研究”配套教材，以培养高职学生掌握数字电子技术的理论和数字电子技术的实践技能为主要目标。本课程是各理工科专业的技术基础课程。在技术现代化和自动化生产的今天，掌握本课程是必要而且重要的。本书以实践推进式模式进行内容安排，将电路实例引入教学，使理论与实践更加紧密地结合，在合理安排理论教学的同时凸显数字电子技术的实践性。在实验器材有限的条件下，适当引入仿真，使教学的实施更加容易。在以培养“高素质、高技能型人才”为目标的高职高专教育中，彰显独特的教学模式，开拓高职教育的新模式。

本书主要内容包括：逻辑代数基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形产生和整形电路、D/A和A/D转换电路、半导体存储器等。在教学内容上适当引入EWB仿真，每章后面都设有小结和习题。

本书由安徽电子信息职业技术学院江力老师担任主编并编写第6章；安徽电子信息职业技术学院严萍老师担任副主编并编写第1章；安徽电子信息职业技术学院张艳艳老师担任副主编，负责参与本教材模式的总体规划并编写附录部分；阜阳职业技术学院张亚芳老师编写第2章和第7章；安徽电子信息职业技术学院夏咏梅老师编写第3章；安徽电子信息职业技术学院余蓓敏老师编写第5章；亳州职业技术学院李玉秋老师编写第4章和第8章。在编写过程中，我们得到了安徽电子信息职业技术学院许多其他老师的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编　者

2011年11月

目　　录

第 1 章　逻辑代数基础

教学目的

掌握十进制、二进制、八进制、十六进制四种数制及其相互之间的转换，掌握逻辑运算的基本公式和定理，熟练运用公式法和卡诺图进行化简，熟练掌握 EWB 仿真软件的使用方法。

技能要求

掌握四种数制及其相互之间的转换，熟练运用公式法和卡诺图进行化简及熟练掌握 EWB 仿真软件的使用方法。

1.1　数制和码制

1.1.1　数制

生活中，常需要用数字量表示物理量的大小或事件的多少，仅用一位数码是不够的，因而必须用进位计数的方法组成多位数码来表示。一般把多位数码中每一位的构成方法以及从低位到高位的进位规则称为数制。常用的数制有以下几种。

1. 十进制数

大家最熟悉的数制是十进制。十进制是用 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9 十个不同字符来表示数的，我们把任意进制中使用字符的个数称为该进制的基或基数。十进制使用了十个字符，因此它的基数为 10。我们使用的任何一个数都可以用这十个字符按一定规律排列起来表示，它的规律是相邻低位数和高位数之间“逢十进一，借一当十”。

同一个字符处于不同的位置，表示不同的值。我们把任意进制中 N^i 称为第 i 位的权。对于十进制来说它的权应该是 10^i，对于二进制来说它的权应该是 2^i，其他进制依此类推。需要注意的是权的底数与它的进制是一致的。第 i 位的计算方法是以小数点为界，整数部分从右往左依次是第 0 位(个位)、第 1 位(十位)、第 2 位(百位)、第 3 位(千位)等等。小数部分是从左往右依次是第 -1 位、第 -2 位、第 -3 位、第 -4 位等等。

例如，有一个十进制数 $N=2132.5$，每一个字符在数中的位置不同，所表示的权就不同，即

$$\begin{aligned} N = 2132.5 &= 2\times10^3+1\times10^2+3\times10^1+2\times10^0+5\times10^{-1} \\ &= 2000+100+30+20+0.5 \end{aligned}$$

第 0 位(个位)和第 3 位(千位)上的字符都是 2，但它在第 0 位(个位)上的权是 10^0，在第 3 位(千位)上的权是 10^3，它们的含义是不同的。

在任意进制数中每位所使用的字符称为该位的系数。在十进制中各位的系数可以是0～9十个字符中的任何一个，因此，任意一个十进制数$(N)_D$可以表示为

$$\begin{aligned}(N)_D &= a_{n-1}a_{n-2}\cdots a_2a_1a_0a_{-1}\cdots a_{-m}\\ &= a_{n-1}\times 10^{n-1}+a_{n-2}\times 10^{n-2}+\cdots+a_2\times 10^2+a_1\times 10^1\\ &\quad +a_0\times 10^0+a_{-1}\times 10^{-1}+\cdots+a_{-m}\times 10^{-m}\\ &= \sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times 10^i\end{aligned}$$

其中，下标D表示十进制数，也可以用数字10来表示。

2. 二进制数

在现代数字系统中，广泛采用二进制计数。二进制使用的字符只有0和1两个，因此，它的基数为2，各位的权为2^i。二进制的规律是相邻低位数和高位数之间“逢二进一，借一当二”，即1+1=10（读为“一零”）。需要注意的是这里的“10”与十进制中的“10”是完全不相同的，它并不代表“十”。二进制各位的系数可以是0，1两个字符中的任何一个，因此任一个二进制数$(N)_B$表示为

$$(N)_B=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times 2^i$$

其中，下标B表示二进制数，也可以用数字2来表示。

例如：

$$(1001.1)_2=1\times 2^3+0\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0+1\times 2^{-1}$$

3. 八进制数

由于二进制数的位数经常很多，书写与记忆相对比较麻烦。对于计算机的数字系统来说，常用与二进制数有对应关系的八进制数或十六进制数来表示。

八进制使用的字符有0，1，2，3，4，5，6，7共八个，因此，它的基数为8，各位的权为8^i。八进制的规律是相邻低位数和高位数之间“逢八进一，借一当八”。需要注意的是这里的“32”与十进制中的“32”是完全不相同的，它并不代表“三十二”。八进制各位的系数可以是0～7八个字符中的任何一个，因此任一个八进制数$(N)_O$表示为

$$(N)_O=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times 8^i$$

其中，下标O表示八进制数，也可以用数字8来表示。

例如：

$$(12.43)_8=1\times 8^1+2\times 8^0+4\times 8^{-1}+3\times 8^{-2}$$

4. 十六进制数

十六进制使用的字符有0～9和A，B，C，D，E，F共十六个，其中十个为数字字符，六个为字母字符。十六进制数的基数为16，各位的权为16^i，它的规律是相邻低位数和高位数之间“逢十六进一，借一当十六”。十六进制各位的系数可以是0～9和A，B，C，D，E，F中的任何一个，因而任一个十六进制数$(N)_H$表示为

$$(N)_H=\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times 16^i$$

其中，下标H表示十六进制数，也可以用数字16来表示。

例如：

$$(37.2A)_H = 3 \times 16^1 + 7 \times 16^0 + 2 \times 16^{-1} + A \times 16^{-2}$$

表1.1为几种常用进制及其对应关系。

表1.1　几种常用进制及其对应关系

项　目	十进制数	二进制数	八进制数	十六进制数
字符	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9	0,1	0,1,2,3,4,5,6,7	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F
第 i 位的权	10^i	2^i	8^i	16^i
运算规则	逢十进一 借一当十	逢二进一 借一当二	逢八进一 借一当八	逢十六进一 借一当十六
对应关系	0	0	0	0
	1	1	1	1
	2	10	2	2
	3	11	3	3
	4	100	4	4
	5	101	5	5
	6	110	6	6
	7	111	7	7
	8	1000	10	8
	9	1001	11	9
	10	1010	12	A
	11	1011	13	B
	12	1100	14	C
	13	1101	15	D
	14	1110	16	E
	15	1111	17	F
	16	10000	20	10
	17	10001	21	11
	18	10010	22	12
	19	10011	23	13
	20	10100	24	14

【例1.1】　将下列数码分别按权展开。

(1) $(576.05)_D$；　(2) $(1011.001)_B$；　(3) $(27.46)_O$；　(4) $(3B.AC)_H$。

解 按权展开,即将不同数制的数按每位权值的不同分别展开。

(1) $(576.05)_D=5\times10^2+7\times10^1+6\times10^0+0\times10^{-1}+5\times10^{-2}$。

(2) $(1011.001)_B=1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}$。

(3) $(27.46)_O=2\times8^1+7\times8^0+4\times8^{-1}+6\times8^{-2}$。

(4) $(3B.AC)_H=3\times16^1+B\times16^0+A\times16^{-1}+C\times16^{-2}$。

1.1.2 数制间的转换

十进制数是日常生活中常用的一种计数方法,二进制数是计算机中使用的计数方法。同一个数可以用二进制或十进制等不同进制来表示,那么它们之间必然有一定的转换关系。

1. 十进制数转换为其他进制数

十进制转换为其他进制主要指十进制数转换为二进制数、十进制数转换为八进制数、十进制数转换为十六进制数。不论何种转换,主要包括两部分,即整数部分的转换和小数部分的转换。整数部分的转换一般采用"除基取余"的方法进行,小数部分的转换一般采用"乘基取整"的方法进行。

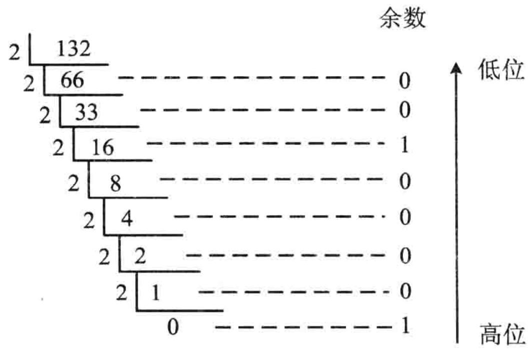
(1) 十进制数转换为二进制数

分别将十进制数的整数部分和小数部分转换为二进制数,最后将转换结果相加即可。

① 整数部分的转换。整数部分采用的是除基取余法。由于二进制的基数为 2,所以也可称为"除 2 取余"法。具体方法是将欲转换的十进制整数逐次除以 2,并依次确定每次相除所得的余数,直到商为 0 时止。每次除得的余数作为转换后二进制数的系数,最后一个余数为转换后二进制数的最高位数,首次相除得到的余数为转换后二进制数的最低位数。

【例 1.2】 将$(132)_D$转换为二进制数。

解 按照除 2 取余法进行转换。



所以,$(132)_D=(10000100)_B$。

② 小数部分的转换。小数部分的转换采用乘基取整法。由于二进制的基数为 2,所以也可称为"乘 2 取整"法。具体方法为:将欲转换的十进制小数部分逐次乘以 2,每次相乘,取所得积的整数部分 1(或 0),直到所得积的小数部分为 0 或达到所要求的精度为止。然后把每次得到的整数按先得到的为高位,最后得到的为最低位,依次按顺序排列起来即可。

【例 1.3】 将$(0.375)_D$转换为相应的二进制数。

解 按照"乘 2 取整"法进行转换。

0.375 × 2		高位
0.75	整数部分 0	
× 2		
1.5	整数部分 1	
0.5	（取出整数部分，小数部分继续乘2）	
× 2		
1.0	整数部分 1	
	（小数部分 0）	低位

所以，$(0.375)_D=(0.011)_B$。

注意　十进制数转换为二进制数时，有时可能出现无限位而不能完全转换。在这种情况下，一般根据精度要求保留一定位数即可。

(2) 十进制数转换为八进制数

分别将十进制数的整数部分和小数部分转换为八进制数，最后将转换结果相加即可。

① 整数部分的转换。整数部分采用的是除基取余法。由于八进制的基数为 8，所以也可称为"除 8 取余"法。具体方法是将欲转换的十进制整数逐次除以 8，并依次确定每次相除所得的余数，直到商为 0 时止。每次除得的余数作为转换后八进制数的系数，最后一个余数为转换后八进制数的最高位数，首次相除得到的余数为转换后八进制数的最低位数。

【例 1.4】　将$(132)_D$转换为八进制数。

解　按照"除 8 取余"法进行转换。

	余数	
8 | 132		
8 | 16	4	低位 ↑
8 | 2	0	
0	2	高位

所以，$(132)_D=(204)_O$。

② 小数部分的转换。小数部分的转换采用乘基取整法。由于八进制的基数为 8，所以也可称为"乘 8 取整"法。具体方法为：将欲转换的十进制小数部分逐次乘以 8，每次相乘，取所得积的整数部分，直到所得的积小数部分为 0 或达到所要求的精度为止。然后把每次得到的整数按先得到的为高位，最后得到的为最低位，依次按顺序排列起来即可。

【例 1.5】　将$(0.45)_D$转换为相应的八进制数（保留三位小数）。

解　按照"乘 8 取整"法进行转换。

0.45 × 8		高位
3.60	整数部分 3	
0.6 × 8		
4.8	整数部分 4	
0.8	（取出整数部分，小数部分继续乘8）	
× 8		
6.4	整数部分 6	
	（小数部分 0.4）	低位

所以，$(0.45)_D=(0.346)_O$。

(3) 十进制数转换为十六进制数

分别将十进制数的整数部分和小数部分转换为十六进制数，最后将转换结果相加即可。

由于十六进制的基数为16,所以整数部分采用“除16取余”法,小数部分采用“乘16取整”法。具体方法与前面介绍的几种类似。

【例1.6】 将$(98)_D$转换为十六进制数。

解 按照“除16取余”法进行转换。

$$
\begin{array}{r|l l l}
 & & \text{余数} & \\
16 & 98 & & \\
16 & 6 & \text{------------ } 2 & \uparrow \text{低位} \\
 & 0 & \text{------------ } 6 & \text{高位}
\end{array}
$$

所以,$(98)_D=(62)_H$。

【例1.7】 将$(0.45)_D$转换为相应的十六进制数(保留三位小数)。

解 按照“乘16取整”法进行转换。

$$
\begin{array}{r l l}
 & 0.45 & \text{高位} \\
\times & 16 & \downarrow \\
\hline
 & 7.2 \text{ ------------ 整数部分 } 7 & \\
 & 0.2 & \\
\times & 16 & \\
\hline
 & 3.2 \text{ ------------ 整数部分 } 3 & \\
 & 0.2 \quad \text{(取出整数部分,小数部分继续乘16)} & \\
\times & 16 & \\
\hline
 & 3.2 \text{ ------------ 整数部分 } 3 & \text{低位} \\
 & \quad\quad \text{(小数部分 0.2)} &
\end{array}
$$

所以,$(0.45)_D=(0.733)_H$。

2. 其他进制数转换为十进制数

其他进制转换为十进制数主要指二进制数转换为十进制数、八进制数转换为十进制数、十六进制数转换为十进制数。不论是上述的哪种转换,方法都基本相同。转换方法是把每一位的系数乘以该位所对应的权后将所得的数全部相加就是该数所对应的十进制数。

(1) 二进制数转换为十进制数

【例1.8】 将下列二进制数转换为十进制数。

(1) $(1010101)_B$;　　(2) $(1010.001)_B$。

解 (1)
$$
\begin{aligned}
(1010101)_B &= 1\times2^6+0\times2^5+1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0 \\
&= 64+16+4+1 \\
&= (85)_D
\end{aligned}
$$

(2)
$$
\begin{aligned}
(1010.001)_B &= 1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+0\times2^0+0\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3} \\
&= 8+2+0.125 \\
&= (10.125)_D
\end{aligned}
$$

(2) 八进制数转换为十进制数

【例1.9】 将下列八进制数转换为十进制数。

(1) $(123)_O$;　　(2) $(42.4)_O$。

解 (1)
$$
\begin{aligned}
(123)_O &= 1\times8^2+2\times8^1+3\times8^0 \\
&= 64+16+3 \\
&= (83)_D
\end{aligned}
$$

(2)
$$
\begin{aligned}
(42.4)_O &= 4\times8^1+2\times8^0+4\times8^{-1} \\
&= 32+2+0.5
\end{aligned}
$$

$$=(34.5)_D$$

(3) 十六进制数转换为十进制数

【例 1.10】 将下列十六进制数转换为十进制数。

(1) $(1AC)_H$；　　(2) $(2B.2)_H$。

解 (1)
$$\begin{aligned}(1AC)_H &= 1\times16^2+A\times16^1+C\times16^0\\ &=256+10\times16+12\times1\\ &=(428)_D\end{aligned}$$

(2)
$$\begin{aligned}(2B.2)_H &= 2\times16^1+B\times16^0+2\times16^{-1}\\ &=32+11\times1+0.125\\ &=(43.125)_D\end{aligned}$$

3. 二进制数与八、十六进制数之间的转换

由于二进制数和八、十六进制数的基数分别是 2,8,16,相互之间可以进行整除,它们之间相互转换的方法也很类似。

(1) 二进制数和八进制数的转换

由于三位二进制数可以表示一位八进制数,所以将二进制数转换为八进制数时,方法是:首先将欲转换的二进制数的整数部分从右向左,每三位为一组,左边不足三位时用零补齐;其次将小数部分从左向右,每三位为一组,最后不足三位时右边用零补齐;最后将每一组三位的二进制数所对应的八进制数写出即可。

与此相反,将八进制数转换为二进制数时,只需将每位八进制数用对应的三位二进制数写出即可。

【例 1.11】 完成下面二进制数和八进制数之间的转换。

(1) $(10100.0011101)_B$；　　(2) $(13.215)_O$。

解 按照转换方法,$(10100.0011101)_B$ 与对应的八进制数之间的关系为

$$\begin{array}{ccccccc} 010 & 100 & . & 001 & 110 & 100\\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow\\ 2 & 4 & . & 1 & 6 & 4\end{array}$$

所以,$(10100.0011101)_B=(24.164)_O$。

按照转换方法,$(13.215)_O$ 与对应的二进制数之间的关系为

$$\begin{array}{ccccccc} 1 & 3 & . & 2 & 1 & 5\\ \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow\\ 001 & 011 & . & 010 & 001 & 101\end{array}$$

所以,$(13.215)_O=(1011.010001101)_B$。

(2) 二进制数和十六进制数的转换

由于四位二进制数可以表示一位十六进制数,将二进制数转换为十六进制数时,方法是:首先将欲转换的二进制数的整数部分从右向左,每四位为一组,左边不足四位时用零补齐;其次小数部分从左向右,每四位为一组,右边不足四位时用零补齐;最后将每一组四位的二进制数所对应的十六进制数写出即可。

与此相反,将十六进制数转换为二进制数时,只需将每位十六进制数用对应的四位二进制数写出即可。

【例 1.12】 完成下面二进制数和十六进制数之间的转换。

(1) $(1101110001.100111)_B$；　　　　(2) $(3E6.B2)_H$。

解　按照转换方法，$(1101110001.100111)_B$ 与对应的十六进制数之间的关系为

$$\begin{array}{cccccc} 0011 & 0111 & 0001 & . & 1001 & 1100 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 3 & 7 & 1 & . & 9 & C \end{array}$$

所以，$(1101110001.100111)_B=(371.9C)_H$。

按照转换方法，$(3E6.B2)_H$ 与对应的二进制数之间的关系为

$$\begin{array}{cccccc} 3 & E & 6 & . & B & 2 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow \\ 0011 & 1110 & 0110 & . & 1011 & 0010 \end{array}$$

所以，$(3E6.B2)_H=(1111100110.1011001)_B$。

1.1.3　码制

数码除了表示数量的大小之外，有些时候也可以用来表示文字符号信息。当用数码作为代号表示不同事物时，称其为代码。一定的代码有一定的规则，这些规则称为码制。建立这种代码与十进制数值、字母、符号的一一对应的关系称为编码。

1. BCD 码

人们习惯于十进制数码，而计算机内部数据的信息常用二进制代码进行处理，因此产生了一种利用四位二进制数表示一位十进制数的计数方式，将这种表示十进制数的四位二进制代码称为二-十进制代码(Binary Coded Decimal)，简称 BCD 码。BCD 码的编码方式有很多种，常分为有权 BCD 码和无权 BCD 码。有权 BCD 码是指每位都有固定权值的 BCD 码，例如，8421 BCD 码、2421 BCD 码、5421 BCD 码等。无权 BCD 码是指每位没有固定权值的 BCD 码，例如，余 3 码和格雷(Gray)码就是常见的无权 BCD 码。

(1) 8421 BCD 码

8421 BCD 码是 BCD 码中使用最多的一种码，其权值由高到低分别为 $8(2^3)$，$4(2^2)$，$2(2^1)$，$1(2^0)$。8421 BCD 码是由四位二进制数 0000(0) 到 1111(15) 十六种组合中前十种组合，即 0000(0)～1001(9) 构成，其余六种组合是无效的，即 1010～1111 六种编码状态在 8421 BCD 码中不允许出现。

【例 1.13】　将 $(45)_D$ 和 $(362.74)_D$ 分别用 8421 BCD 码表示。

解

$$(45)_D=(01000101)_{8421}$$

$$(362.74)_D=(001101100010.01110100)_{8421}$$

【例 1.14】　将 $(1010111)_{8421}$ 和 $(1000011.011001)_{8421}$ 分别用十进制数表示。

解

$$(1010111)_{8421}=(01010111)_{8421}=(57)_D$$

$$(1000011.011001)_{8421}=(01000011.01100100)_{8421}=(43.64)_D$$

(2) 2421 BCD 码

2421 BCD 码也是用四位二进制数表示一位十进制数，即由四位二进制数 0000(0) 到 1111(15) 十六种组合中选取另外十种有效组合构成的，如表 1.2 所示。2421 BCD 码的权值由高到低分别为 2、4、2、1。2421 BCD 码的特点是具有对 9 的自补特性，是一种对 9 的自补代码。例如，十进制数 2 的 2421 BCD 码为 0010，2 对 9 的补码是 9－2＝7，7 的 2421 BCD 码