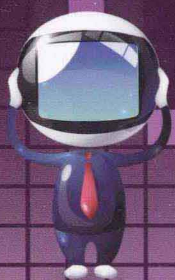
实用电子技术
自学万事通

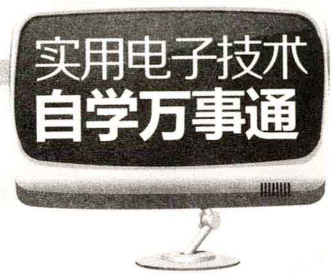


数字电子技术实用电路

SHUZI DIANZI JISHU
SHIYONG
DIANLU

付少波　赵玲　主编

化学工业出版社



数字电子技术实用电路

SHUZI DIANZI JISHU SHIYONG DIANLU

付兴波　赵　玲　主编

化学工业出版社
·北京·

图书在版编目（CIP）数据

数字电子技术实用电路/付少波，赵玲主编．—北京：化学工业出版社，2013.7
（实用电子技术自学万事通）
ISBN 978-7-122-17536-6

Ⅰ.①数…　Ⅱ.①付…②赵…　Ⅲ.①数字电路-电子技术-基本知识　Ⅳ.①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 117854 号

责任编辑：卢小林　　文字编辑：云　雷
责任校对：边　涛　　装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号　邮政编码 100011）
印　　装：大厂聚鑫印刷有限责任公司
850mm×1168mm　1/32　印张 8¾　字数 239 千字
2013 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686）　售后服务：010-64518899
网　　址：http://www.cip.com.cn
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定　价：29.00 元

《实用电子技术自学万事通》编委会

主　任　张　宪

编　委（按汉语拼音排序）

陈　影　付兰芳　付少波　匡小平

李会山　李良洪　李志勇　王凤忠

王　亮　张春和　张大鹏　张　宪

赵慧敏　赵建辉

《数字电子技术实用电路》编写人员

主　编　付少波　赵　玲

副主编　胡云朋　付兰芳　孙　昱　李志勇

参　编　张　森　何惠英　李纪红　刘卜源

俞　妍　赵建辉　范毅军　沈　虹

赵慧敏　柳贵东

主　审　张　宪　陈　影　李良洪

前言

FOREWORD

数字电子技术实用电路

进入21世纪，电子技术的广泛应用，给工农业生产、国防事业、科技和人民的生活带来了革命性的变化。为推广现代电子技术，普及电子科学知识，我们编写了这套《实用电子技术自学万事通》，以帮助正在学习电子技术的读者，以及即将从事电子设备与电子装置维修的人员尽快理解现代电子设备与电子装置构成原理，了解各种电子元器件与零部件在电子技术中的应用情况，学会检测元器件和制作简单电子设备的一些基本方法。

本套丛书包括《电子工艺基础》《电子元器件的选用与检测》《数字电子技术实用电路》《详解电子控制照明电路60例》《详解实用电子电路128例》《传感器实用电路》六个分册，力求使广大电子爱好者通过本套丛书的学习，轻松进入电子科学技术的大门，激发他们对电子技术的探索兴趣，掌握深入研究电子技术所必备的基础知识，并把它应用到生产和实际生活中去。

本套书对电子技术基础知识做了较详尽的叙述，可为初学者奠定较扎实的理论知识和实际操作知识，对学习电子技术和分析识读电路图有相当裨益，既可分册独立学习，又可系统学习全套丛书。

本书是《数字电子技术实用电路》分册，全书从数字电子技术的实际应用出发，全面、详细、系统地介绍了数字电子技术基础知识，主要包括逻辑门电路、触发器、计数器、寄存器、D/A

转换器与 A/D 转换器及时基电路。各章分类科学，编目明确，便于查阅。本书侧重于实际应用，电路设计合理，列举了大量应用实例，通用性较强，具有集成电路种类多、涉及面广且全面的特点。本书重点介绍了中、大规模集成电路 CMOS 4××× 系列和 TTL74 系列中多种数字集成电路的功能、原理及基本应用。

本书的特色：

（1）理论与实践相结合。本书在介绍理论知识时特别注重和实践相结合，突出与实践密切相关的电路分析与介绍，提供较多的基本应用电路。

（2）注重典型电路的讲解。随着数字集成电路制造技术的迅速发展，各个领域的电子电路和电路形式也越来越多，本书在讲解数字电路基础知识的基础上，注重典型电路的工作原理和应用方法的讲解。

（3）图文并茂，好读易懂。本书新颖、实用，图文并茂，深入浅出，通俗易懂，对于初学者以及工程技术人员是不可多得的参考书。

本书在编写过程中，曾得到出版社和同行的大力支持和帮助，在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编　者

目录

CONTENTS

数字电子技术实用电路

第一章 Chapter 1

计数系统和编码

第一节

计数体制

数制即计数体制，它是按照一定规律表示数值大小的计数方法。日常生活中最常用的计数体制是十进制，数字电路中最常用的计数体制是二进制，此外还有八进制和十六进制。

一、二进制数

二进制数是以 2 为基数的计数体制。在二进制数中，每位只有 0 和 1 两个数码，它的进位规则是逢二进一。各位权值为 2 的整数幂。其按权展开式为

$$(N)_2 = \sum_{i=-m}^{n-1} k_i 2^i \tag{1-1}$$

在二进制数中，k 的取值为 0 或 1。

如对于二进制数$(1011.101)_2$可表示为

$$(1011.101)_2 = 1\times2^3 + 0\times2^2 + 1\times2^1 + 1\times2^0 + 1\times2^{-1} + 0\times2^{-2} + 1\times2^{-3}$$

由于二进制数中的 0 和 1 与开关电路中的两个状态对应，因此，二进制数在数字电路中应用十分广泛。

二、八进制数

二进制数对于计算机的数字系统来说，处理起来非常容易，但

书写与记忆相对较慢，故经常采用八进制数（或十六进制）来表示二进制数。

八进制数是以 8 为基数的计数体制。在八进制数中，每位有 0、1、2、3、4、5、6、7 八个不同的数码，它的进位规则是逢八进一。各位权值为 8 的幂。其按权展开式为

$$(N)_8=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i8^i \tag{1-2}$$

在八进制数中，k 的取值为 0～7。

如对于八进制数$(571.45)_8$可表示为

$$(571.45)_8=5\times8^2+7\times8^1+1\times8^0+4\times8^{-1}+5\times8^{-2}$$

三、十进制数

人类长期的生产实践中学会了用 10 个指头（0～9）计数，很显然仅用一位数码往往不够，必须采用多位数码按先后次序把它们排成数位，由低到高进行计数，计满后进位，这就产生了我们最熟悉的十进制。

十进制数是以 10 为基数的计数体制。在十进制数中，每位有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 十个不同的数码，它的进位规则是逢十进一。数码所处的位置不同，其代表的数值也不同，如

$$(123.21)_{10}=1\times10^2+2\times10^1+3\times10^0+2\times10^{-1}+1\times10^{-2}$$

式中，10^2、10^1、10^0、10^{-1}、10^{-2} 为十进制数百位、十位、个位、十分位和百分位的权值。

十进制数中，各位权值为 10 的幂。其按权展开式为

$$(N)_{10}=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i10^i \tag{1-3}$$

式（1-3）中，k_i为第 i 位数码，在十进制数中 k 的取值为 0～9。

四、十六进制数

十六进制数是以 16 为基数的计数体制。在十六进制数中，每位有 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A(10)、B(11)、C(12)、D(13)、E(14)、F(15) 十六个不同的数码，它的进位规则是逢十六

进一。各位权值为 16 的幂。按其权展开式为

$$(N)_{16}=\sum_{i=-m}^{n-1}k_i16^i \tag{1-4}$$

在十六进制数中 k 的取值为 0～F。

对于十六进制数$(25A.D4)_{16}$可表示为

$$(25A.D4)_{16}=2\times16^2+5\times16^1+10\times16^0+13\times16^{-1}+4\times16^{-2}$$

第二节 进位计数制之间的相互转换

一、常用进位计数制之间的对应关系

表 1-1 列出了二进制、八进制、十进制、十六进制等不同数制的对应关系。

表 1-1 二进制、八进制、十进制、十六进制对照表

十进制	二进制	八进制	十六进制	十进制	二进制	八进制	十六进制
0	**0000**	8	0	8	**1000**	10	8
1	**0001**	1	1	9	**1001**	11	9
2	**0010**	2	2	10	**1010**	12	A
3	**0011**	3	3	11	**1011**	13	B
4	**0100**	4	4	12	**1100**	14	C
5	**0101**	5	5	13	**1101**	15	D
6	**0110**	6	6	14	**1110**	16	E
7	**0111**	7	7	15	**1111**	17	F

二、二进制数与十进制数之间的转换

二进制数转换为十进制数的方法是利用式 1-1 将二进制按权展开，然后将所有各项的数值按十进制数相加即可。

如把二进制数$(1011.101)_2$转换为十进制数为

$$(1011.101)_2=1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+0\times2^{-2}+1\times2^{-3}=(11.625)_{10}$$

十进制数转换为二进制数时，需将十进制数的整数部分和小数部分分别进行转换，最后将转换结果相加即可得到完整的转换结果。

(1) 整数部分的转换

整数部分的转换采用除 2 取余法，即将进制整数逐次除 2，并依次记下余数，一直除到商为 0 时结束，最后一次得到的余数为转换后二进制数的最高整数位，以此类推，即可得到等值的二进制数。

如将十进制数$(174)_{10}$转化成二进制数。

		余数	
2	174	0 = k_0	最低位 (LSB)
2	87	1 = k_1	
2	43	1 = k_2	
2	21	1 = k_3	
2	10	0 = k_4	
2	5	1 = k_5	
2	2	0 = k_6	
2	1	1 = k_7	最高位 (MSB)
	0		

因此 $(174)_{10}=(10101110)_2$

(2) 小数部分转换

小数部分转换采用乘 2 取整法，即将十进制数的小数逐次乘以 2（每次只将小数部分乘以 2）并依次记下整数，然后把全部整数按次序排列起来，即可得到等值的二进制数。

若十进制小数不能用有限位二进制小数精确表示，则应根据精度要求，当要求的二进制数取 m 位小数时可求出 $m+1$ 位，然后对最低位作 0 舍 1 入处理。

如将十进制小数 0.437 转换成二进制小数，保留到小数点以后 5 位。

$0.437\times2=0.874$ 整数部分$=0=k_{-1}$ 最高位（MSB）

$0.874\times2=1.748$ 整数部分$=1=k_{-2}$

$0.748\times2=1.496$ 整数部分$=1=k_{-3}$

$0.496\times2=0.992$ 整数部分$=0=k_{-4}$

$0.992\times2=1.984$ 整数部分$=1=k_{-5}$ 最低位（LSB）

所以 $(0.437)_{10}=(0.01101)_2$

如果一个十进制数既有整数也有小数，可将整数与小数分别进行转换，然后合并可得到等值的二进制数。

由上述可知

$$(174.437)_{10}=(10101110.01101)_2$$

如将十进制数$(7.625)_{10}$转换成二进制

$$(7.625)_{10}=(7)_{10}+(0.625)_{10}=(111)_2+(0.101)_2=(111.101)_2$$

三、二进制数与八进制数之间的转换

(1) 二进制数转换成八进制数

二进制数与八进制数的相互转换比较容易，因为 3 位二进制数可表示一位八进制数。二进制数转换成八进制数的方法如下：从二进制数的小数点开始，把二进制数的整数部分从低位开始，每 3 位二进制数为一组，最后一组不足 3 位时，则在高位加 0 补足 3 位为止；小数点后的二进制数则从高位开始，每 3 位二进制数为一组，最后一组不足 3 位时，则在低位加 0 补足 3 位，然后将每组用一位八进制数来表示，即可得到等值的八进制数。

如将二进制数$(11111101.01110111)_2$转换为八进制数。

$$\begin{array}{ccccccc}\mathbf{011} & \mathbf{111} & \mathbf{101} & \cdot & \mathbf{011} & \mathbf{101} & \mathbf{110} \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ 3 & 7 & 5 & \cdot & 3 & 5 & 6\end{array}$$

所以 $(11111101.01110111)_2=(375.356)_{10}$

(2) 八进制数转换成二进制数

只要将每位八进制数用 3 位二进制数来代替，再按原来的顺序排列起来，便得到相应的二进制数。

如将八进制数$(547.453)_8$转换为二进制数。

$$\begin{array}{ccccccc}5 & 4 & 7 & \cdot & 4 & 5 & 3 \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ \mathbf{101} & \mathbf{100} & \mathbf{111} & \cdot & \mathbf{100} & \mathbf{101} & \mathbf{011}\end{array}$$

所以$(547.453)_8=(101100111.100101011)_2$

四、二进制数与十六进制数之间的转换

(1) 二进制数转换成十六进制数

由于四位二进制数可表示一位十六进制数，因此，二进制数转换成十六进制数的方法是：整数部分从低位开始，每 4 位二进制数为一组，最后一组不足 4 位时，则在高位加 0 补足 4 位为止；小数点后的二进制数则从高位开始，每 4 位二进制数为一组，最后一组不足 4 位时，则在低位加 0 补足 4 位。最后将每组用一位十六进制数表示，即可得到等值的十六进制数。

如将二进制数$(10110111110.100111)_2$转换成十六进制数。

0101	**1011**	**1110**	·	**1001**	**1100**
↓	↓	↓		↓	↓
5	B	E	·	9	C

所以 $(10110111110.100111)_2=(5BE.9C)_{16}$

(2) 十六进制数转换成二进制数

只要将每位十六进制数用 4 位二进制数来代替，再按用来的顺序排列起来，便得到相应的二进制数。

如将十六进制数$(9BE5.97D)_{16}$转换成二进制数。

9	B	E	5	·	9	7	D
↓	↓	↓	↓		↓	↓	↓
1001	**1011**	**1110**	**0101**	·	**1001**	**0111**	**1101**

$(9BE5.97D)_{16}=(1001101111100101.100101111101)_2$

第三节

码　制

在数字电路中，常用一定位数的二进制数码表示不同的事物或信息，这些数码称为代码，编制代码时要遵循一定的规则，这些规则叫码制。

人们较熟悉的是十进制代码，而数字系统中是以二进制代码作

为处理对象的，进而就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，人们将这种表示十进制数的四位二进制数代码称为二-十进制代码，简称为 BCD 码。

表 1-2 给出了几种常用的二-十进制代码。

表 1-2　常用的二-十进制代码

十进制数	有权码				无权码
	8421 码	5421 码	2421(A)码	2421(B)码	余 3 码
0	**0000**	**0000**	**0000**	**0000**	**0011**
1	**0001**	**0001**	**0001**	**0001**	**0100**
2	**0010**	**0010**	**0010**	**0010**	**0101**
3	**0011**	**0011**	**0011**	**0011**	**0110**
4	**0100**	**0100**	**0100**	**0100**	**0111**
5	**0101**	**1000**	**0101**	**1011**	**1000**
6	**0110**	**1001**	**0110**	**1100**	**1001**
7	**0111**	**1010**	**0111**	**1101**	**1010**
8	**1000**	**1011**	**1110**	**1110**	**1011**
9	**1001**	**1100**	**1111**	**1111**	**1100**

一、8421 码

8421 码又称 BCD 码，是十进制代码中最常用的一种。在这种编码方式中，每一位二值代码都代表一个固定数值，将每一位的 1 代表的十进制数相加得到的结果就是它所代表的十进制数码。由于代码从左至右每一位的 1 分别表示 8、4、2、1，所以将这种代码称为 8421 码。每一位的 1 代表的十进制数称为这一位的权。8421 码中每一位的权是固定不变的，它属于恒权代码。

需要说明的是，在 8421 码中，不允许出现 1010～1111 这六种代码，因为在十进制数中没有单个的数字符号与它们对应。

二、2421 码和 5421 码

2421 码是一种恒权代码，也是用四位二进制代码来表示一位十进制数的，它各位的权值由高到低分别为 2、4、2、1。2421（A）

码和 2421(B) 码的编码方式不完全相同。由表 1-2 可以看出：2421(B) 码具有互补性，它的 0 和 9、1 和 8、2 和 7、3 和 6、4 和 5 的余 3 码互为反码，这个特点和余 3 码相仿。

5421 码是另一种恒权代码。它各位的权值依次为 5、4、2、1。

三、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 4 位二进制数，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。

余 3 码不是恒权代码。如果试图将每个代码视为二进制数，并使它等效的十进制数与所代表的代码相等，那么代码中每一位的 1 所代表的十进制数在各个代码中不能是固定的。

四、格雷码

格雷码（Gray）的编码规则是任何相邻的两个编码中，仅有一位代码不同，其他位代码则相同，如表 1-3 所示。格雷码常用在计数器中，当从某一编码变到下一个相邻编码时，只有一位的状态发生变化，这有利于提高系统的工作速度和可靠性。

显然，格雷码中的每一位没有固定的权值，是无权码。

表 1-3　四位二进制数与格雷码

十进制数	二进制数	格雷码	十进制数	二进制数	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

五、美国信息交换标准代码（ASCII 码）

计算机不仅用于处理数字，而且用于处理字母、符号等文字信