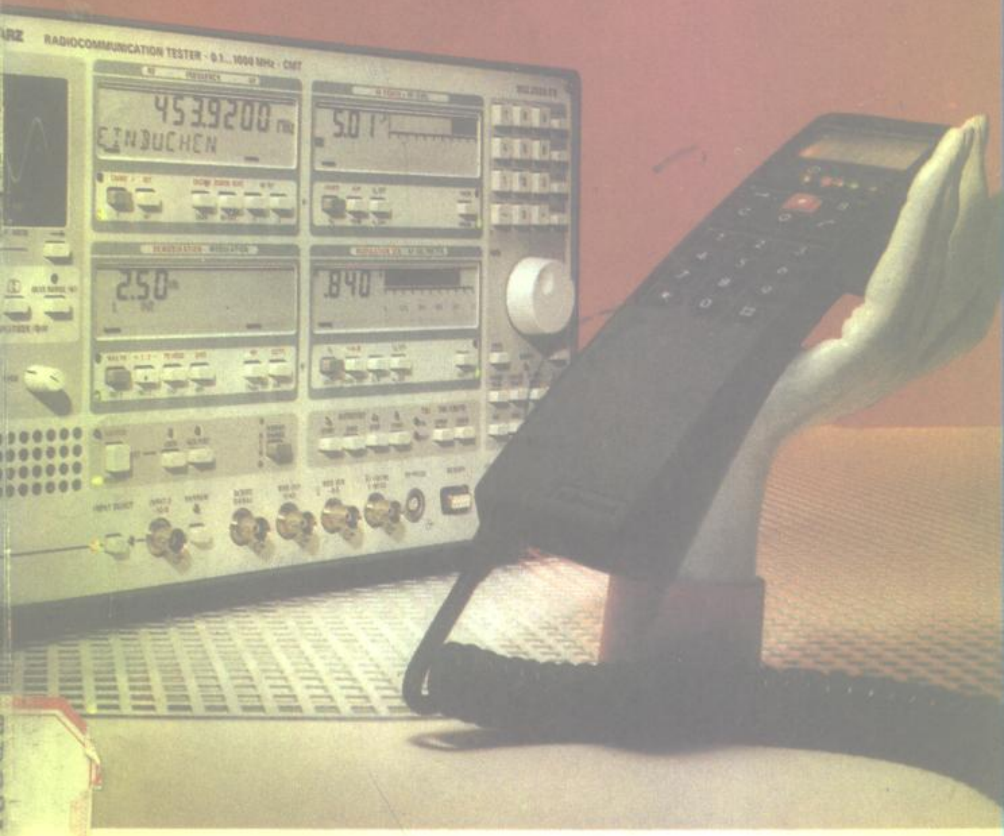
数字仪器丛书

电子工业出版社



赵骥　李永清　编著

数字电路基础

数字仪器丛书

数字电路基础

李永青 赵骥 编著

電子工業出版社

内容简介

本书前两章系统地介绍了数字电路的基础理论，包括数字电路中常用的计数制和相互转换关系，逻辑代数的初步知识，并结合实例讲述了公式用法和卡诺图法化简逻辑函数的方法，本书的后几章中详细地介绍了基本的数字电路，即基本逻辑电路和组合逻辑电路，时序逻辑电路。为了适应集成化的发展趋势，本书对用集成电路组成的各种逻辑电路也作了介绍，希望能对不太熟悉集成电路的读者有所帮助。

本书通俗易懂，可供有一定无线电基础知识的读者阅读，也可供这方面的学生作为参考书。

数字仪器丛书
数字电路基础
李永青 赵骥 编著
责任编辑：魏永昌
*
电子工业出版社出版（北京市万寿路）
北京市昌平环球科技印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
*
开本：787×1092 1/32 印张：8.5 字数：197千字
1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷
印数：6000 定价：1.95元
统一书号：15290·661
ISBN7-5053-0160-8/TN80

绪　言

《数字电路基础》一书是《数字式电子仪器丛书》之第一册，它主要介绍数字电路的基础知识，为丛书后几册打下必要的基础。

在近代电子学中，通常把不连续变化、只能以某一定的最小增量为单位增加或减少的信号，叫做数字信号。处理数字信号的电路叫数字电路。数字电路有一系列优点：处理信号的精度高；稳定可靠；信号可长期存储。随着集成电路工艺的发展，数字电路的价格日益下降。由于这些原因，数字技术已被广泛地应用于电子计算机、数字仪器、数字通讯，甚至雷达、电视等各个领域。随着新技术革命的发展，可以毫不夸张地说，未来生活的很多领域都要和数字电路技术打交道。

在数字技术中扮演主角的数字电路，主要实现下列功能：信号变换和整形、传输控制和测量、信号编码和译码、计数、寄存和显示等。除了整形、控制和测量将放在以后几册介绍外，其余部分都将在本书中予以说明。

本书第一、二两章系统地介绍了数字电路的基础理论。第一章介绍数字电路中常用的计数制和相互转换关系。第二章介绍逻辑代数的初步知识，并结合实例讲述了用公式法和卡诺图法化简逻辑函数的方法。第三章到第五章介绍基本的数字电路。首先介绍基本逻辑电路，然后介绍组合逻辑电路和时序逻辑电路。为了适应集成化的发展趋势，本书着重介

绍用集成电路组成的各种逻辑电路，希望能对不太熟悉集成电路的读者们有所帮助。

实际测量时，为完成一定的测试目的，往往需要几台仪器组成一个测量系统。不同仪器之间如何接口？即使在同一台仪器中，不同单元之间如何接口？本书第六章就这方面的内容提供了一些基本知识。

本书通俗易懂，可供有一定无线电基础知识的读者阅读，也可供这方面的学生作为参考书。

在编写过程中，参考了一些有关的资料，陈肇源、魏永昌同志拨冗审校了全书，谨在此鸣谢。

目　录

第一章 数　制

一、常用的数制

在我们的日常生活中，广泛采用十进制来表达数目或进行运算，它是应用最广泛的一种数制。但有时我们也采用其他一些数制，比如一年为十二个月，一打为十二只，采用的是十二进制；一天等于24小时，用的是24进制；一小时为60分，一分为60秒，这里采用的是60进制。在数字式电子仪器和电子计算机中，不同的数字只能采用不同的电平来表示，如果采用十进制，所用的电路必须确保每位能精确地区分十种不同的电平，使每种电平与一个十进制数（0，1，…9）对应。当然通过精心设计电路，也不是不可能做到这一点，但电路必然很复杂，而且出错的几率一定很高。实际上，在数字仪器中广泛采用的是二进制，因为二进制具有一个很大的特点：简单。它只有两个数字：0和1，通过0和1的适当组合（编码）就可以表示不同的十进制数。此外数字仪器中还使用八进制，十六进制和二-十进制等计数制（后面的分析将表明，这几种计数制实际上是以二进制为基础的一些变形）。本章将介绍这些常用的计数制，并对作为基础的二进制予以详细研究。

为了掌握不同计数制的一些规律，我们先分析一下最常用的十进制计数制。首先举两个具体的例子：538，2049.25。

如果把这两个数字改写一下，则

$$538 \doteq 5\times100+3\times10+8\times1=5\times10^2+3\times10^1+8\times10^0$$

$$\begin{aligned}2049.25 &= 2\times1000+0\times100+4\times10+9\times1+2\times0.1+5\times0.01\\ &= 2\times10^3+0\times10^2+4\times10^1+9\times10^0+2\times10^{-1}+5\times10^{-2}\end{aligned}$$

分析这两个例子，可以看出：任何十进制数可以按10的降幂排列，系数可以是0～9这十个数中的任一个，幂的底为10，从高位数到低位数其指数依次降低，个位数的指数为0，小数位数的指数依次为－1，－2，……。因此，任一个十进制数（整数或包括小数部分）均可用下式表示：

$$N=a_n10^n+a_{n-1}10^{n-1}+\cdots\cdots+a_1 10^1+a_0 10^0+a_{-1}10^{-1}+\cdots\cdots+a_{-m}10^{-m}=\sum_{i=-m}^{n}a_i\cdot10^i \qquad (1.1)$$

式中a_i为系数，可取0～9中任何一个数，10为基数，i为幂的指数。(1.1)式揭示了十进制计数制的一些基本规律：十进制数的组成，进位规律等等。

如果推广一下，用R代替（1.1）式中的10，就得到了任何一种进制数的一般表达式：

$$N=a_nR^n+a_{n-1}R^{n-1}+\cdots\cdots+a_1R^1+a_0R^0+a_{-1}R^{-1}+a_{-2}R^{-2}+\cdots\cdots+a_{-m}R^{-m}=\sum_{i=-m}^{n}a_iR^i \qquad (1.2)$$

上式中R为基数，十进制中$R=10$，二进制中$R=2$，八进制即$R=8$。a_i为系数，可以是0，1……（$R-1$）中的任一个。i为指数。

下面分别介绍一下$R=10$，2，8，16的几种计数制。

为了表明一个数到底是属于哪种计数制，常在数的最后一位的右下角用小字标出R的值。例如：25_8表示八进制中的25，1011_2表示二进制中的1011。

（一）十进制

十进制是逢十进一，基数$R=10$。数码a_i可取0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，十个数字中的任一个。这是人们最熟悉的一种数制，因此用不着多加介绍。

任一十进制数，比如111，尽管百位、十位、个位上都是1，但由于它们所处的位置不同，三个1所代表的数值也不等：百位上的1代表100（如果是2则代表200，3则代表300，其余依此类推），十位上的1代表10（如果是2则代表20，3则代表30，其余依此类推），只是个位上的1才真正是1。我们把一个数列各位上的1所代表的数值，叫做该位上的"位权"（或"权重"，"权"）。如果这位上不是1而是a_i，则它所代表的数值就是a_i乘以"位权"。

显然十进制数的各位的位权为：

……1000	100	10	1	⟵	"权"
千位	百位	十位	个位	⟵	"位"

（三）二进制

二进制中逢二进一，基数$R=2$，数码a_i可取0或1。二进制数的每一数位有一个专门名称，叫"比特（bit），是二进制数位binary digit的缩写。

在数字电路中广泛采用二进制，因为它具有下列优点：

（1）二进制数只有0，1两个数码，因此只要用一个具有两种不同稳定状态的物理元件就可表示这两种不同数码。例如电灯的亮（"1"）和灭（"0"）；开关的通（"1"）和断（"0"）；脉冲的有（"1"）和

无（“0”）；电平的高（“1”）和低（“0”）等等。

（2）采用二进制可以用较少的物理元件表示较多的数，因而可以简化电路，提高电路的可靠性。

（3）二进制的四则运算与十进制基本相同，只要记住“逢二进一”“和”（向高位）借一（到低位上）还二”的原则就行了。

二进制各位的位权自左至右为

$\cdots\cdots 2^4=16，2^3=8，2^2=4，2^1=2，2^0=1\cdots\cdots$

即$\cdots\cdots 16，8，4，2，1\cdots\cdots$

（三）八进制

这种计数制是逢八进一，基数$R=8$，数码a_i可取0，1，2，3，4，5，6，7中的任一个。

由于它和二进制间的相互转换非常容易，所以也是广泛应用于数字仪器中的一种计数制。

（四）十六进制

十六进制也是经常用的一种计数制，它可以比较容易地与二进制相互转换。

这种数制是逢十六进一，基数$R=16$，数码a_i可以是0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B，C，D，E，F，十六个中的任一个。这里不但采用了0～9十个数字，还采用了A～F六个字母（分别代表十进制数的10～15），因此这种数制又叫“字母数字计数制”（Alphanumerics）。

（五）二-十进制

对数字电路和计算机说来，二进制当然是最方便的“语言”，但是数字一大，读起来、处理起来就比较麻烦。况且人们最习惯的是十进制，从人机对话的角度来看，必须要解决人机之间在语言上的矛盾。为此引出了“二进制编码的十

进制数”（Binary-Coded Decimal Number，简写为BCD），这种数码就叫BCD码。

在BCD码中，将十进制数的每一数位，用一个四比特（四数位）的二进制数组表示；十进制数有几位，就用几组二进制数；组与组之间加一短划（“-”）或者隔开一间隔。

用四比特的二进制数组来表示十进制数的方法，即所谓BCD编码的方法。BCD编码的方法有多种多样（详见第四节），这里先介绍一种最常用的BCD码——8421码（又称为“自然BCD码”，或“NBCD码”）。

在8421码中，每一个四比特的二进制数组内，各位的位权，自左至右分别为8，4，2，1，“8421”码的名称就是这样得来的。8421数码与十进制数之间的对应关系见表1-1。

表 1-1　8421码与十进制数的对应关系

8421码	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001
十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

表1-2中示出了上面介绍的几种计数制的比较。最右边列出的是格雷码，它的特点是相邻两个数之间只改变四个比特中的一个比特。例如7_{10}和8_{10}，在格雷码中分别为0100，1100，两者只有一个数位相异。这种编码在A/D转换（模/数转换）中是很有用的。

表1-2 不同数制的比较

计数制	十进制	二进制	八进制	十六进制	二-十进制	
					8-4-2-1码	Gray码
基数R	10	2	8	16		
数码 a_i	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,中任一个	0或1	0,1,2,3,4,5,6,7,中任一个	0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F,中任一个		
位数	$10^2,10^1,10^0$	$2^6,2^5,2^4,2^3,2^2,2^1,2^0$	$8^2,8^1,8^0$	$16^1,16^0$		
不	0	0000	00	00	0000 0000	0000 0000
同	1	0001	01	01	0000 0001	0000 0001
数	2	0010	02	02	0000 0010	0000 0011
制	3	0011	03	03	0000 0011	0000 0010
中	4	0100	04	04	0000 0100	0000 0110

数的对应

5	0101	05	05	0000 0101	0000 0111
6	0110	06	06	0000 0110	0000 0101
7	0111	07	07	0000 0111	0000 0100
8	1000	10	08	0000 1000	0000 1100
9	1001	11	09	0000 1001	0000 1000
10	1010	12	OA	0001 0000	0001 0000
11	1011	13	OB	0001 0001	0001 0001
12	1100	14	OC	0001 0010	0001 0011
13	1101	15	OD	0001 0011	0001 0010
14	1110	16	OE	0001 0100	0001 0110
15	1111	17	OF	0001 0101	00011 0111
64	1000000	100	40	0110 0100	0101 0110
100	1100100	144	64	0001 0000 0000	0001 0000 0000
125	1111101	175	7D	0001 0010 0101	0001 0011 0111

二、不同计数制之间的转换

（一）2，8，16进制数换算成十进制数

为了把2，8，16进制数转换为人们熟悉的十进制数，只要应用（1-2）式，按位权展开，然后再求和就行了。下面举几个例子：

$$1101.0101_2=[1\times2^3+1\times2^2+0\times2^1+1\times2^0+0\times2^{-1}+1\times2^{-2}+0\times2^{-3}+1\times2^{-4}]_{10}=13.3125_{10}$$

$$514.25_8=[5\times8^2+1\times8^1+4\times8^0+2\times8^{-1}+5\times8^{-2}]_{10}=332.328125_{10}$$

$$ED3.C7_{16}=[14\times16^2+13\times16^1+3\times16^0+12\times16^{-1}+7\times16^{-2}]_{10}=3795.77734375_{10}$$

（二）8421码换算成十进制数

只要把分隔开的各组二进制数分别转换为十进制数，就可直接写出对应的十进制数。

例如：　　8421码中：1001　0110　0010

　　各组对应的十进制数：　9　　6　　2

所以对应的十进制数为962_{10}。

（三）十进制数换算成2，8，16进制数

在进行这种转换时，整数和小数的转换方法完全不同，所以必须把整数部分和小数部分分别转换，然后再把其结果相加。

1.整数部分的转换

设十进制整数为N（以$N<64$为例），要把N化成二进制

数，只要能求出下式右边各项的系数a_5，a_4……a_0就完成了。

$$N=a_5\cdot 2^5+a_4\cdot 2^4+a_3\cdot 2^3+a_2\cdot 2^2+a_1\cdot 2^1+a_0\cdot 2^0$$

将N除以2得

商数$N_1=a_5\cdot 2^4+a_4\cdot 2^3+a_3\cdot 2^2+a_2\cdot 2^1+a_1\cdot 2^0$ ……余数a_0

再将N_1除以2得

商数$N_2=a_5\cdot 2^3+a_4\cdot 2^2+a_3\cdot 2^1+a_2\cdot 2^0$ ……余数a_1

N_2除以2得

商数$N_3=a_5\cdot 2^2+a_4\cdot 2^1+a_3\cdot 2^0$ ……余数a_2

N_3除以2得

商数$N_4=a_5\cdot 2^1+a_4\cdot 2^0$ ……余数a_3

N_4除以2得

商数$N_5=a_5\cdot 2^0$ ……余数a_4

如再将N_5除以2，则商为0 ……余数为a_5

从上述分析可见，将十进制整数N除以2，余数即为二进制数从右数起第一位数；得到的商再除以2，其余数即为二进制数的从右数起第二位数；……依此类推，最后剩下的余数，就是二进制数的最高位（即最左边一位）。

下面举一个例子来说明这一转换方法，例如要将21_{10}转换为二进制数：

2 | 21 余数＝1 …最低位
2 | 10 余数＝0 ↑
2 | 5 余数＝1
2 | 2 余数＝0
2 | 1 余数＝1 …最高位
0

$\therefore 21_{10}=10101_2$

这种方法，对转换到8（或16）进制同样适用，只不过这时每次不是除以2，而是除以8(或16)了。同样以21_{10}为例：

8 |21……余数5（最低位）

8 |2……余数2（最高位）

0

$\therefore 21_{10}=25_8$

16 |21……余数5（最低位）

16 |1……余数1（最高位）

0

$\therefore 21_{10}=15_{16}$

2.小数部分的转换

设有一十进制小数M可用下式表示（为简便起见，只举三位的例子）：

$$M=a_{-1}\cdot 2^{-1}+a_{-2}\cdot 2^{-2}+a_{-3}\cdot 2^{-3}$$

其底数的方次是负的，为了使系数与底数分离，就必须用2乘等式两边，具体步骤如下：

将M乘以2；

$2M=a_{-1}+(a_{-2}\cdot 2^{-1}a_{-3}\cdot 2^{-2})=a_{-1}+M_1$

即乘积的整数部分为a_1，M_1为乘积的小数部分。

将M_1乘以2：

$2M_1=a_{-2}+a_{-3}\cdot 2^{-1}=a_{-2}+M_2$

乘积的整数部分为a_2，小数部分为M_2。

将M_2乘以2：

$2M_2=a_{-3}$

由上述分析可见，将十进制小数转换为二进制数时，只需乘以2，乘积的整数部分，就是二进制数小数点后的第一