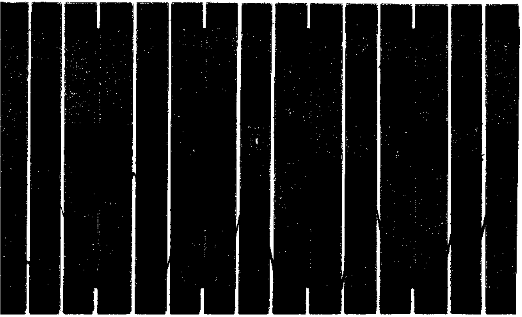
实用脉冲与数字电路

杨新立　房颖　编著



北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书介绍了脉冲与数字电路基本原理、结构及其应用。该书实用性强，通俗易懂，便于自学，每章末均附有小结、习题，书末附有习题答案。

全书共八章，包括：基础知识，脉冲信号的产生与整形，晶体管逻辑门电路，逻辑代数及其应用，集成逻辑门电路，集成触发器，数-模与模-数转换，存贮器。

本书可以作为家用电器维修、职工电子技术培训和技工学校的教材。

实 用 脉 冲 与 数 字 电 路

杨新立 房颖 编著

*

北京科学技术出版社出版

（北京西直门外南路19号）

新华书店首都发行所发行 各地新华书店经售

山河营印刷厂印刷

*

850×1168 大32开本 7.875印张188千字

1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

印数1—10000册

ISBN 7-5304-0367-2/T·71 定价：3.30元

编　者　的　话

脉冲与数字电路课程是与电子技术有关的各专业的技术基础课。本书主要讲述脉冲与数字电路的基本物理概念、典型电路的组成、基本工作原理及其应用。本书在叙述上是循序渐近，由浅入深，尽量避免涉及太繁锁的数学推导。为了帮助读者掌握各章节所讨论的主要内容，在每章末附有小结、习题和思考题。

本书在编写过程中承徐沛如副教授审改，并提出许多宝贵的意见，在此表示谢意。

由于编者水平所限，书中难免错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编　者

一九八八年六月

目　录

第一章　基础知识

脉冲与数字电路的内容是广泛的，它包括了脉冲的产生、整形、变换、控制、计数、显示等等。脉冲电路就是能够产生和变换各种脉冲波形的电路。尽管脉冲电路种类很多，但是由电阻R和电容C构成的RC电路，在输入脉冲作用下，电容的充放电是脉冲电路中最经常、最普遍遇到的现象，它是构成脉冲电路的基本矛盾之一。所谓数字电路就是指能够进行算术运算和逻辑运算的电路。在数字电路中，我们所使用的主要数学工具是逻辑代数。逻辑代数是研究二进制数字运算的一门学科。

在本章中，我们首先讨论什么是二进制，它和十进制之间的转换，在数字电路中经常采用的所谓二——十进制码的表示方法以及RC电路的特性。

第一节　二进制与十进制

一、十　进　制

我们日常生活中经常使用的数是十进制数。十进制数使用0～9十个数码，我们把它们称为十进制数的10个基数。十进制数进位规则是“逢十进一”，例如，当9＋1时，就产生向高一位的进位，变成10。

众所周知，同一数码在数字中所处的位置不同，它所代表的数值也不同。例如，当我们写出十进制数333.33后，大家立即知道，这五个“3”数码相同，但意义不一样。从左至右，第一个“3”代表$3\times10^2=300$；第二个“3”代表$3\times10^1=30$；第三个“3”代表

$3\times10^0=3$；小数点后第一个"3"表示3×10^{-1}；小数点后第二个"3"表示3×10^{-2}等等。而十进制数333·33就是这些数字的和：

$$333.33=3\times10^2+3\times10^1+3\times10^0+3\times10^{-1}+3\times10^{-2}$$

所有这些10^2、10^1、10^0……，我们称之为权，用这样的权能够表示十进制数是显而易见的。同理有：

$$1987.5=1\times10^3+9\times10^2+8\times10^1+7\times10^0+5\times10^{-1}$$

一般来说，任何一个十进数N可表示为

$$N=\pm(a_{n-1}\times10^{n-1}+\cdots\cdots+a_1\times10^1+a_0\times10^0+a_{-1}\times10^{-1}+\cdots\cdots+a_{-m}\times10^{-m})$$

$$=\pm\sum_{i=-m}^{n-1}a_i\times10^i$$

式中，m、n是正整数；a_i可是0～9十个数码中的任何一个，它要由具体的数来决定；10^i表示第i位的权。

人们采用十进制数是很自然的，因为人的手指就是十个。但是十进制并不是唯一的计数方法。例如，有时也用到十二进制，12本薄子为一"打"；也有二十四进制，24小时为一天；六十进制，60秒为一分等等。

二、二 进 制

在十进制中，有关基数的概念以及对每位赋予权的方法，对二进制也是适用的。

二进制的基数是2，采用"0"与"1"两个数码；进位原则是"逢二进一"。例如，二进制运算$1+1=10$，相当于十进制的2。二进制10再加1时，记为11，相当于十进制的3。表1—1为100以内的十进制数与二进制数的对照表。

表1—1　十进制数和二进制数的对照表

十进制数	二进制数	十进制数	二进制数	十进制数	二进制数	十进制数	二进制数	十进制数	二进制数
0	0	20	10100	40	101000	60	111100	80	1010000
1	1	21	10101	41	101001	61	111101	81	1010001
2	10	22	10110	42	101010	62	111110	82	1010010
3	11	23	10111	43	101011	63	111111	83	1010011
4	100	24	11000	44	101100	64	1000000	84	1010100
5	101	25	11001	45	101101	65	1000001	85	1010101
6	110	26	11010	46	101110	66	1000010	86	1010110
7	111	27	11011	47	101111	67	1000011	87	1010111
8	1000	28	11100	48	110000	68	1000100	88	1011000
9	1001	29	11101	49	110001	69	1000101	89	1011001
10	1010	30	11110	50	110010	70	1000110	90	1011010
11	1011	31	111111	51	110011	71	1000111	91	1011011
12	1100	32	100000	52	110100	72	1001000	92	1011100
13	1101	33	100001	53	110101	73	1001001	93	1011101
14	1110	34	100010	54	110110	74	1001010	94	1011110
15	1111	35	100011	55	110111	75	1001011	95	1111111
16	10000	36	100100	56	111000	76	1001100	96	1100000
17	10001	37	100101	57	111001	77	1001101	97	1100001
18	10010	38	100110	58	111010	78	1001110	98	1100010
18	10011	39	100111	59	111011	79	1001111	99	1100011

和十进制数一样，在二进制数中同一个数码在数中的位置不同，表示的数值也不同，二进制数对应各位的权是…2^2、2^1、2^0、2^{-1}、2^{-2}…。

例如，一个二进制数1010110·1可写成

$$
\begin{aligned}
(1010110\cdot1)_2 &= (1\times2^6)+(0\times2^5)+(1\times2^4)+(0\times2^3) \\
&\quad +(1\times2^2)+(1\times2^1)+(0\times2^0)+(1\times2^{-1}) \\
&= 64+0+16+0+4+2+0+0.5 \\
&= (86\cdot5)_{10}
\end{aligned}
$$

这里(　　)$_{10}$表示(　　)内的数值是十进制数。同样，(　　)$_2$表示二进制数。在此例中，二进制数1010110·1变换成了十进制数86.5。借助此例，也明白了二进制数转换成十进制数的一般方法。即把二进制数按权展开，然后把所有各项的数值按十进制相加，就可得到十进制数了。

按照前面十进制数的一般表示法，就很容易写出二进制数 N 的一般表示法：

$$
\begin{aligned}
(N)_2 &= \pm(b_{n-1}\times 2^{n-1}+\cdots+b_1\times 2^1+b_0\times 2^0 \\
&\quad +b_{-1}\times 2^{-1}+\cdots+b_{-m}\times 2^{-m}) \\
&= \pm\sum_{i=-m}^{n-1} b_i\times 2^i
\end{aligned}
$$

式中，m、n为正整数，bi 可是 0 和 1 两个数码中的一个，2^i 表示第i位的权。

二进制的四则运算完全同十进制的四则运算、但是要注意到二进制数的特殊性，即“逢二进一”的性质。例如，二进制数加法、减法和乘法的运算规则如下：

加法：

$0+0=0$

$0+1=1$

$1+0=1$

$1+1=10$

减法：

$0-0=0$

$1-0=1$

$1-1=0$

$10-1=1$

乘法：

$0\times 0=0$

$0\times 1=0$

$1\times 0=0$

$1\times 1=1$

显然，二进制的运算规则比十进制简单的多，下面再举几个例子。

〔例一〕 $(1101)_2+(1011)_2$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ +\ 1011 \\ \hline 11000 \end{array}$$

〔例二〕 $(11011)_2-(10001)_2$

$$\begin{array}{r} 11011 \\ -\ 10001 \\ \hline 1010 \end{array}$$

〔例三〕 $(1101)_2\times(101)_2$

$$\begin{array}{r} 1101 \\ \times\ 101 \\ \hline 1101 \\ 0000 \\ 1101 \\ \hline 1000001 \end{array}$$

〔例四〕 $(110111)_2\div(1011)_2$

$$\begin{array}{r} 101 \\ 1011\ \overline{)\ 110111} \\ 1011 \\ \hline 1011 \\ 1011 \\ \hline 0 \end{array}$$

对于同一个数，可以用不同的进位制来表示，这时它的形式虽不同，但是既然表示同一个数，它们之间应当可以相互转化。将二进制数换成十进制数的方法在前面已作了介绍，下面将讨论如何把十进制数转换成二进制数的方法。

三、十进制整数转换成二进制数

将十进制整数转换为和它等值的二进制数，其转换方法一般采用"除 2 取余"法，即将十进制整数逐次地用 2 除，并依次记下余数，一直除到商数为零，然后把全部余数按相反的次序排列起来，就得到等值的二进制数。

〔例〕　将十进制数215转换成二进制数。

设　$(215)_{10}=(b_nb_{n-1}\cdots\cdots b_1b_0)_2$

只要决定出 b_n、$b_{n-1}\cdots\cdots b_1$、b_0的值，就可得到 $(215)_{10}$的二进制形式。

根据“除 2 取余”法，215被2除，得到商数107和余数 1 ，这个余数就是二进制数的b_0。然后将其商107再用2除，得商数53和余数1，余数 1 为二进制数的b_1。然后将其商连续地除以2，每次所得的余数依次为 b_2、b_3、$b_4\cdots\cdots$，直到最后等于0为止，其运算过程可作如下表示。

商　　余数

$$\frac{215}{2}=107\cdots\cdots 1$$

$$\frac{107}{2}=53\cdots\cdots 1$$

$$\frac{53}{2}=26\cdots\cdots 1$$

$$\frac{26}{2}=13\cdots\cdots 0$$

$$\frac{13}{2}=6\cdots\cdots 1$$

$$\frac{6}{2}=3\cdots\cdots 0$$

$$\frac{3}{2}=1\cdots\cdots 1$$

$$\frac{1}{2}=0\cdots\cdots 1$$

$$\begin{array}{cccccccc} b_7 & b_6 & b_5 & b_4 & b_3 & b_2 & b_1 & b_0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{array}$$

因此，$(215)_{10}=(b_7b_6b_5b_4b_3b_2b_1b_0)_2=(11010111)_2$，为了简化书写过程，一般采用下述方法：

	余数	
2 | 2 1 5		
2 | 1 0 7	1 ……b_0	↑
2 | 5 3	1 ……b_1	
2 | 2 6	1 ……b_2	读
2 | 1 3	0 ……b_3	数
2 | 6	1 ……b_4	方
2 | 3	0 ……b_5	向
2 | 1	1 ……b_6	
2 | 0	1 ……b_7	

从上面所举的例子，可以总结出十进制数转换成二进制数的规则是：将已知的十进制数不断地用 2 去除，将所得的余数(0或 1)依次记为b_0、b_1、b_2、……，一直到商为 0 时为止，将最后一次除得的余数记作b_n，那么$b_nb_{n-1}\cdots b_1b_0$即为该数的二进制数。

四、十进制纯小数转换成二进制数

采用“乘 2 取整”法，下面也通过一个实例来看转换方法。

〔例〕　把十进制数0.6875表示成二进制形式。

设　$(0.6875)_{10}=(0.b_{-1}b_{-2}\cdots\cdots b_{-m})_2$

依照二进制展开式，上式可写为：

$$(0.6875)_{10}=b_{-1}\times2^{-1}+b_{-2}\times2^{-2}+\cdots\cdots+b_{-m}\times2^{-m})$$

将上面等式两边各乘以 2 即得：

$$1.375=b_{-1}+(b_{-2}\times2^{-1}+b_{-3}\times2^{-2}+\cdots\cdots+b_{-m}\times2^{-m+1})$$

可以看出，上面等式右边括号内的数是小于 1 的，即小数点后面的数。我们知道，两个带有小数的数相等，则整数部分和小数部分

分别相等。所以有

$$b_{-1}=1$$

$$0.375=b_{-2}\times 2^{-1}+b_{-3}\times 2^{-2}+\cdots\cdots+b_{-m}\times 2^{-m+1}$$

同样，用2去乘上面等式的左右两边，即得：

$$0.75=b_{-2}+(b_{-3}\times 2^{-1}+\cdots\cdots+b_{-m}\times 2^{-m+2})$$

同上可得

$$b_{-2}=0$$

$$0.75=b_{-3}\times 2^{-1}+\cdots\cdots+b_{-m}\times 2^{-m+2}$$

如此，继续下去，即可得到b_{-3}、b_{-4}、……b_{-m}各值。其整个换算过程如下：

$$\begin{array}{lr}0.6875 & \\ \times2 & \\ \hline 1.3750 & \text{整数}=1\cdots\cdots b_{-1} \\ \\ 0.3750 & \\ \times2 & \\ \hline 0.7500 & \text{整数}=0\cdots\cdots b_{-2} \\ \\ 0.7500 & \\ \times2 & \\ \hline 1.5000 & \text{整数}=1\cdots\cdots b_{-3} \\ \\ 0.5000 & \\ \times2 & \\ \hline 1.0000 & \text{整数}=1\cdots\cdots b_{-4}\end{array}$$

所以，$(0.6875)_{10}=(0.1011)_2$

对于小数，十进制数转换为二进制数的规则是，不断地用2去乘，将所得的整数（0或1）依次记为b_{-1}、b_{-2}、……。如果乘积的小数部分最后能为0，那么将最后一次乘积的整数记为b_{-m}，则$0.b_{-1}b_{-2}\cdots\cdots b_{-m}$就是该小数的二进制表示。

但是，十进制小数并不是都能用有限位的二进制小数精确地表示。例如，$(0.423)_{10}$用有限个2去逐次乘，乘积小数部分最终并不能得到0，故不能用有限位二进制小数精确地表示。因此，

通常根据对精度的要求取近似值。

最后要指出的是：对具有整数和小数两个部分的十进制数，分别把整数部分和小数部分转换成二进制的形式，然后相加起来即可。例如，$(215.6875)_{2}=(11010111.1011)_{2}$。

第二节　二—十进制

数字系统中的十进制数，也是用二进制代码经过编码来表示的。凡是采用若干位二进制数码来表示一位十进制数的方法，统称为十进制数的二进制编码，简称为二——十进制编码或 BCD 码。

用二进制进行编码来表示十进制数的方法很多：有些表示十进制数的二进制编码是有权的，称为有权 BCD 码，例如，8421码、2421码、5211码等等；还有无权的，称作无权码，例如，余3码等等。这里只介绍 8421 BCD 码。

8421BCD码是最基本、最简单的一种编码，应用十分广泛。表 1 — 2 是一位十进制数与8421BCD码的对应关系。

由表可知，8421BCD码是用四位二进制代码表示一位十进制数。四位二进制数有0000、0001、0010、……1001、1010、1011、1100、1101、1110、1111，十六种状态，而这种编码只取0000～1001，十种状态。1010～1111的六种状态在这种编码中没有意义，因此，这六种状态为禁用状态。

8421BCD是有权码，表示一位十进制数的四位二进制码中，根据各位所在的位置，每一位都有固定的权，如图 1 — 1 (见下页)所示，它们的权是2^3、2^2、2^1、2^0，即 8、4、2、1，8421的名称即由此而来。

这种编码的另一个特点是，各位十进制数书写起来很直观，便于识别。图 1 — 2 是用8421BCD码表示的十进制数值9721。