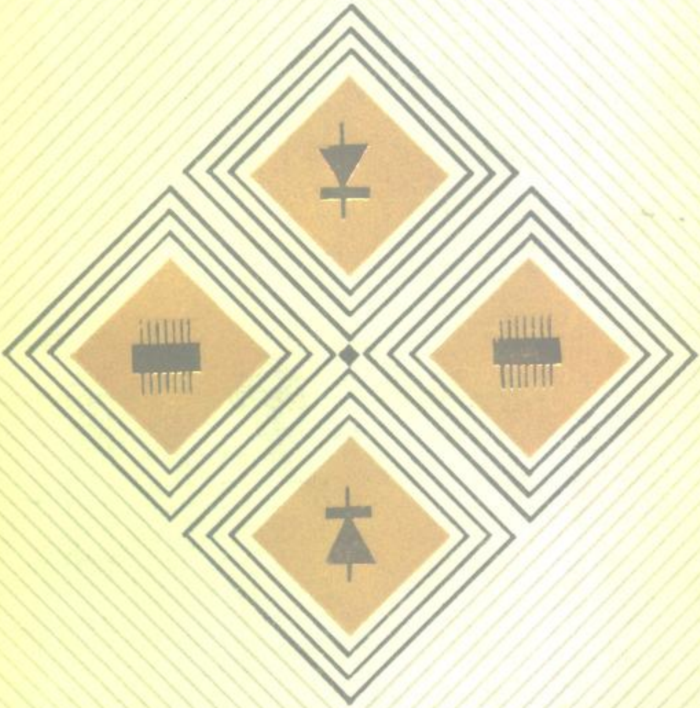

脉冲数字电路及其应用 中

清华大学无线电系刘宝琴 郑君里等编著·人民邮电出版社

脉冲数字电路及其应用

中 册

清华大学无线电系

刘宝琴 郑君里等编著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书是清华大学无线电系 1976 年编著的《晶体管脉冲电路和数字集成电路》上、下册的修订版本，分上、中、下三册出版。新版本保留了原版本的基本内容和深入浅出、理论联系实际、以讲清物理概念为重点的特色，增加了数字电路的逻辑设计和常用逻辑部件及数字系统等方面的内容；全书结构做了较合理的重新安排；减少了原书分立元件脉冲技术的篇幅；改编和增写的篇幅约占全书的三分之二，反映了近几年来数字电路技术的新发展和新应用，故易名为《脉冲数字电路及其应用》。本书上册介绍了 RC、RL、RLC 电路、和脉冲变压器的瞬变过程、器件的工作原理与开关特性、分立元件的数字电路、双极型和 MOS 型数字集成电路以及逻辑代数的初步知识。这本中册主要介绍数字电路中通用的逻辑设计方法、常见的逻辑部件、国内已大量生产的各种中规模集成电路的工作原理和典型应用。本书下册为数字系统设计的其它有关问题，包括：数据的存储、数据的终端显示、波形变换与定时系统、数字和模拟的相互转换、数字系统的整体设计等。本书适合通信、雷达、计算机、自动控制等专业学生及有关部门工作人员参考和自学。

脉冲数字电路及其应用

中 册

清华大学无线电系刘宝琴　郑君里等编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

北京印刷一厂印刷

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　　1983年11月第一版

印张：14 8/32　页数：228　1983年11月北京第一次印刷

字数：327 千字　　　　　印数：1—30,500册

统一书号：15045·总2743-无6245

定价：1.80元

目　录

第十二章　数制与编码

1. 数　　制

人们日常生活中已习惯于十进制数。例如，7492 读做七千四百九十二。7 在千位上，读做七千；4 在百位上，读做四百；9 在十位上，读做九十；2 在个位上，读做二。这是一种“位置记数法”，即每个数所在的位置不同，其所对应的值不同。通常把千、百、十、个称为“权”，把 7、4、9、2 称为“系数”，写为：

$$(7492)_{10}=(7\times10^3+4\times10^2+9\times10^1+2\times10^0)_{10}$$

式中的注脚 10 表示十进制，或说以十为“基数”。其一般形式为：

$$\begin{aligned}(N)_{10}&=(a_{n-1}\ a_{n-2}\cdots a_1\ a_0)_{10}\\&=(a_{n-1}\times10^{n-1}+a_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots\\&\quad+a_1\times10^1+a_0\times10^0)_{10}\end{aligned}$$

对于带小数的数写做：

$$\begin{aligned}(N)_{10}&=(a_{n-1}\ a_{n-2}\cdots a_1\ a_0.a_{-1}\ a_{-2}\cdots a_{-m})_{10}\\&=(a_{n-1}\times10^{n-1}+a_{n-2}\times10^{n-2}+\cdots\\&\quad+a_1\times10^1+a_0\times10^0+a_{-1}\times10^{-1}+a_{-2}\times10^{-2}+\cdots\\&\quad+a_{-m}\times10^{-m})_{10}\end{aligned}\qquad(12.1.1)$$

式中 a_0 和 a_{-1} 之间的点称为“小数点”。n 和 m 分别是整数位数和小数位数。由式（12.1.1）看到，十进制每位的权是 10 的幂。

在数字系统中常常采用二进制数。由上面讨论可知，十进

制数是“逢十进位”，其“基数”为十。类似地，二进制数是“逢二进位”，其“基数”为二。二进制数也采用“位置记数法”，只不过每位的“权”是2的幂（见表12.1.1）。二进制数的一般形式为：

$$
\begin{aligned}
(N)_2 &= (b_{n-1}\ b_{n-2}\cdots b_1\ b_0 \cdot b_{-1}\ b_{-2}\cdots b_{-m})_2 \\
&= (b_{n-1}\times 2^{n-1}+b_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots \\
&\quad +b_1\times 2^1+b_0\times 2^0+b_{-1}\times 2^{-1}+b_{-2}\times 2^{-2}+\cdots \\
&\quad +b_{-m}\times 2^{-m})_{10}
\end{aligned}
\tag{12.1.2}
$$

例如：

$$
\begin{aligned}
(11010.11)_2 &= (1\times 2^4+1\times 2^3+0\times 2^2+1\times 2^1+0\times 2^0 \\
&\quad +1\times 2^{-1}+1\times 2^{-2})_{10} \\
&= (26.75)_{10}
\end{aligned}
$$

表 12.1.1　　二进制各位的“权”

二进制位数	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
权（十进制表示）	2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
	4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

二进制位数	−1	−2	−3	−4	−5	−6
权（十进制表示）	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}	2^{-5}	2^{-6}
	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125	0.015625

二进制的优点是运算简单，其数字电路便于实现。但是，人们对二进制数一般不容易直接辨认。同一个数值用二进制数表示时，比用十进制数表示时的位数要长。为了解决二进制数书写较长的问题，常采用以“2的幂”为基数的八进制数、十六进制数。

二进制数有两个数：0、1；十进制数有十个数：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9；八进制数有八个数：0、1、2、3、4、

5、6、7；十六进制数有十六个数：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F（其中A为10，B为11，C为12，D为13，E为14，F为15）。

一般说来，以r为基数的r进制数有r个数。表12.1.2列出了几种数制的基数和对应的r个数字。任何进制数都可采用位置记数法，即

$$
\begin{aligned}
(N)_r &= (k_{n-1}\ k_{n-2}\cdots k_1\ k_0 k_{-1}\ k_{-2}\cdots k_{-m})_r \\
&= (k_{n-1}\times r^{n-1}+k_{n-2}\times r^{n-2}+\cdots+k_1\times r^1+k_0\times r^0 \\
&\quad +k_{-1}\times r^{-1}+k_{-2}\times r^{-2}+\cdots+k_{-m}\times r^{-m})_{10} \qquad (12.1.3)
\end{aligned}
$$

例如：$(4321.2)_5=(4\times 5^3+3\times 5^2+2\times 5^1+1\times 5^0+2\times 5^{-1})_{10}$
$=(586.4)_{10}$

又例如：$(B\,67\,F)_{16}=(11\times 16^3+6\times 16^2+7\times 16^1+15\times 16^0)_{10}$
$=(46719)_{10}$

表 12.1.2　　常见的数制

基数	包含的数字
2	0，1.
3	0，1，2.
8	0，1，2，3，4，5，6，7.
10	0，1，2，3，4，5，6，7，8，9.
12	0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，α，β.
16	0，1，2，3，4，5，6，7，8，9，A，B，C，D，E，F.

2. 不同数制之间的相互转换

本节讨论一个数如何从一种数制表示转换成另一种数制表示。考虑到我们对十进制的运算规则最熟悉，下面只介绍借助于十进制运算实现的数制转换方法。

2.1 十进制和非十进制之间的互换

（一）由十进制转换成其它进制

（1）整数的数制转换

我们先介绍十进制整数转换成二进制整数的方法。一个十进制整数N可展开成如下多项式：

$$(N)_{10}(\text{整数})=b_{n-1}\ 2^{n-1}+b_{n-2}\ 2^{n-2}+\cdots+b_1\ 2^1+b_0 \tag{12.2.1}$$

把它记作A_0，则

$$A_0=2\left[b_{n-1}\ 2^{n-2}+b_{n-2}\ 2^{n-3}+\cdots+b_1\right]+b_0 \tag{12.2.2}$$

记括号中的内容为A_1，即

$$A_1=b_{n-1}\ 2^{n-2}+b_{n-2}\ 2^{n-3}+\cdots+b_2\ 2^1+b_1 \tag{12.2.3}$$

于是得到：

$$A_0=2\ A_1+b_0 \quad \text{或}\frac{A_0}{2}=A_1+\frac{b_0}{2} \tag{12.2.4}$$

由A_1又可写出：

$$A_1=2\left[b_{n-1}\ 2^{n-3}+b_{n-2}\ 2^{n-4}+\cdots+b_2\right]+b_1 \tag{12.2.5}$$

把括号中的内容记为A_2，于是得到：

$$A_1=2\ A_2+b_1 \quad \text{或}\frac{A_1}{2}=A_2+\frac{b_1}{2} \tag{12.2.6}$$

类似地，A_2又可展开，提出公因子2，得到：

$$A_2=2\ A_3+b_2 \quad \text{或}\frac{A_2}{2}=A_3+\frac{b_2}{2} \tag{12.2.7}$$

$$\vdots$$

$$A_i = 2A_{i+1} + b_i \quad \text{或} \frac{A_i}{2} = A_{i+1} + \frac{b_i}{2} \qquad (12.2.8)$$

$$\vdots$$

显然，A_{i+1} 相当于 A_i 被 2 除所得的商，b_i 为余数。如此继续除下去，直到商为 0[注]。各次除法所留下的余数 b_{n-1}、b_{n-2}、$\cdots b_i$、$\cdots b_1$、b_0 就是$(N)_{10}$ 表示成二进制的系数。从而得到十进制整数转换成二进制整数的"基数除法"。

例：转换$(41)_{10}$成二进制数。

$$41 \div 2 = 20 + \frac{1}{2}, 1 = b_0$$

$$20 \div 2 = 10 + \frac{0}{2}, 0 = b_1$$

$$10 \div 2 = 5 + \frac{0}{2}, 0 = b_2$$

$$5 \div 2 = 2 + \frac{1}{2}, 1 = b_3$$

$$2 \div 2 = 1 + \frac{0}{2}, 0 = b_4$$

$$1 \div 2 = 0 + \frac{1}{2}, 1 = b_5$$

所以，$(41)_{10} = (101001)_2$。

基数除法可写成图 12.2.1 形式，十进制整数 $(N)_{10}$ 多次被基数除，直到商小于基数为止。最后一次除法的商和以前诸

[注] 事实上，经过 n 次除法之后，得到：

$$A_{n-1} = 2A_n + b_{n-1} = b_{n-1} \quad \text{或} \quad \frac{A_{n-1}}{2} = A_n + \frac{b_{n-1}}{2} \qquad (12.2.9)$$

而且 $A_n = 0$。这是因为，在每次除法中，A_{i+1} 为 A_i 被 2 除的商。又知 $(N)_{10} = A_0$ 小于 2^n。由 A_0 到计算出 A_n 经过了 n 次除法，故 A_n 等于 0。

次除法的余数一起构成了十进制数$(N)_{10}$对应的二进制整数。图 12.2.1 中箭头表示由高位到低位的方向，$(41)_{10}=(101001)_2$。

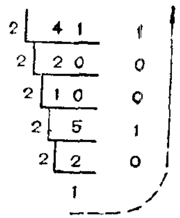

图 12.2.1 十进制 41 转换成二进制数 101001 的基数除法

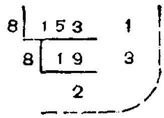

图 12.2.2 十进制 153 转换成八进制数 231 的基数除法

十进制整数转换成 r 进制整数的基数除法与上述类似，只不过每次是用基数 r 去除。例如，$(153)_{10}=(231)_8$ 的计算过程如图 12.2.2 所示。

综上所述，十进制整数转换成 r 进制整数的“基数除法”步骤如下：

① 把给出的十进制数除以基数 r，余数便是等值的 r 进制数的最低位。

② 把上一步的商，再除以基数 r，余数便是等值的 r 进制数的次低位。

③ 重复步骤(2)，直到最后所得的商等于 0 为止。各次除得的余数，便是 r 进制数各位的数(最后一次的余数是最高位)。

(2) 纯小数的数制转换

一个十进制纯小数 N 可展开成如下多项式

$$(N)_{10}(\text{纯小数})=b_{-1}2^{-1}+b_{-2}2^{-2}+\cdots+b_{-m}2^{-m}=B_0 \tag{12.2.10}$$

这里我们假定 N 可用二进制数准确地表示（一般存在舍入误

差)，并把上式记为 B_0。B_0 乘 2，可得：

$$2B_0=b_{-1}+[b_{-2}2^{-1}+b_{-3}2^{-2}+\cdots+b_{-m}2^{-m+1}] \tag{12.2.11a}$$

显然上式中 b_{-1} 为整数，括号中的数为小数，并记为 B_1。故上式又可写为：

$$2B_0=b_{-1}+B_1 \tag{12.2.11.b}$$

B_1 乘 2，得：

$$2B_1=b_{-2}+[b_{-3}2^{-1}+b_{-4}2^{-2}+\cdots b_{-m}2^{-m+2}] \tag{12.2.12}$$

或写为

$$2B_1=b_{-2}+B_2 \tag{12.2.13}$$

如此继续下去，可得：

$$2B_2=b_{-3}+B_3 \tag{12.2.14}$$

$$\vdots$$

$$2B_{i-1}=b_{-i}+B_i \tag{12.2.15}$$

$$\vdots$$

直到

$$2B_{m-1}=b_{-m}+B_m \tag{12.2.16}$$

从 B_0 到 B_m 经过了 m 次乘 2。如果 B_m 等于 0，则 N 能用 m 位二进制小数准确表示；如果 B_m 不等于 0，则存在舍入误差，其舍入误差小于 2^{-m}。二进制系数 b_{-1}、$b_{-2}\cdots b_{-m}$ 就是 B_i 每次乘 2 所得积的整数部分。由此得到十进制纯小数转换成二进制纯小数的“基数乘法”。

例如：$(0.8125)_{10}$ 转换成二进制数

$0.8125\times2=1.625$　　$b_{-1}=1$

$0.625\times2=1.25$　　$b_{-2}=1$

$0.25\times2=0.5$　　$b_{-3}=0$

$0.5\times2=1.0$　　$b_{-4}=1$

所以　　　　　　　$(0.8125)_{10}=(0.1101)_2$。

又例如：$(0.39)_{10}$ 转换成二进制数

$$
\begin{array}{ll}
0.39\times 2=0.78 & b_{-1}=0 \\
0.78\times 2=1.56 & b_{-2}=1 \\
0.56\times 2=1.12 & b_{-3}=1 \\
0.12\times 2=0.24 & b_{-4}=0 \\
0.24\times 2=0.48 & b_{-5}=0 \\
0.48\times 2=0.96 & b_{-6}=0 \\
0.96\times 2=1.92 & b_{-7}=1 \\
0.92\times 2=1.84 & b_{-8}=1
\end{array}
$$

所以$(0.39)_{10}=(0.01100011)_2$，并存在小于 $2^{-8}\approx 4\times 10^{-3}$的舍入误差。

十进制纯小数转换成 r 进制纯小数的基数乘法与上述类似，只不过每次是用基数 r 去乘。例如$(0.513)_{10}$转换成八进制数：

$$
\begin{array}{l}
0.513\times 8=4.104 \\
0.104\times 8=0.832 \\
0.832\times 8=6.656 \\
0.656\times 8=5.248 \\
0.248\times 8=1.984 \\
0.984\times 8=7.872
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lr}
 & 0.513 \\
\times & 8 \\
\hline
 & (4).104 \\
\times & 8 \\
\hline
 & (0).832 \\
\times & 8 \\
\hline
 & (6).656 \\
\times & 8 \\
\hline
 & (5).248 \\
\times & 8 \\
\hline
 & (1)984 \\
\times & 8 \\
\hline
 & (7).872
\end{array}
$$

图 12.2.3　十进制数 0.513 转换成八进制数 0.406517 的基数乘法

也可写成图 12.2.3 形式。

所以$(0.513)_{10}=(0.406517)_8$，

舍入误差小于8^{-6}。

综上所述，十进制纯小数转换成 r 进制纯小数的基数乘法步骤如下：