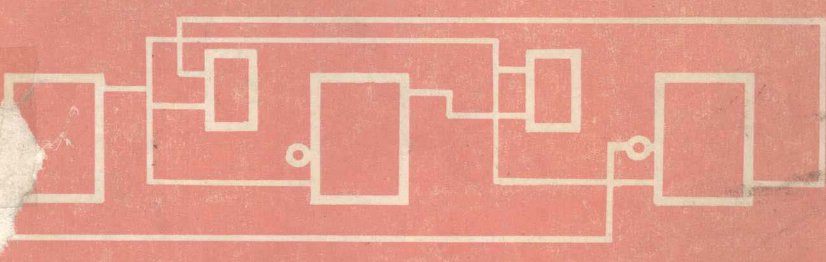
刘国忱　编

SHUZIDIANLU
JIANMING
JIAOCHENG

数字电路简明教程



大连理工大学出版社

数字电路简明教程

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

数字电路简明教程

Shuzi Dianlu Jianming Jiaocheng

刘国忱　编

大连理工大学出版社出版发行　（邮码：116023　电话：4708842）
大连理工大学印刷厂印刷

开本：850×1168　1/32　印张：$9\frac{9}{16}$　字数：246 千字
印数：6001－11000 册
1986 年 7 月第 1 版　1993 年 12 月第 2 次印刷

责任编辑：郭学满　责任校对：寸　土
封面设计：姜严军

ISBN 7-5611-0561-4/TN・6　定价：6.00 元

前　言

随着电子技术的飞速发展，计算机、各种数控自动化设备及数字式仪表得到了广泛应用；特别是电子计算机，它几乎渗透到一切领域和部门，并越来越显示出其强大的生命力及无可比拟的优越性。由于它们都是以数字电路作为必要的基础，因此学习数字电路知识，不仅为电类而且也为非电类专业的广大师生和工程技术人员所重视，他们迫切要求掌握一些数字电路方面的知识，以期在社会主义现代化建设中发挥更大作用。

基于这种情况，并为满足广大非电类专业学生的学习愿望，近几年来，我校开设了理科《脉冲技术》课和工科《数字电路》选修课，进一步加深与扩充《电工学》中数字电路部分的内容。本书就是在这一工作基础上编写的。

为适应非电类专业读者自学需要，本书在内容处理上，避免过份庞杂，注意取材恰当、重点明确、深入浅出。全书以组合、时序逻辑电路等基本内容为主，贯穿逻辑设计与逻辑分析方法；在讨论各种逻辑电路时，着重分析其功能和应用；基本上删掉了各种分立元件电路，突出了中小规模集成电路；为使读者对数字系统的数字运算有初步了解，书中简要介绍了算术运算电路；此外，本书在最后两章还介绍了脉冲电路、模拟量与数字量的相互转换，并通过数字表电路实例的分析，帮助读者对数字系统建立起整体概念。

本书可作为高等理工科学校非电类专业的教材和《电工学》教学参考书；亦可用作电专业成人教育、电大等教学参考书以及具有中等以上文化程度的工程技术人员自学参考书。

全书的编写工作得到了蒋德川教授的热情帮助和指导;蒋德川教授与刘志秀副教授详细审阅了全部初稿,提出了很多极其宝贵的修改意见,在此谨致以最诚挚的谢忱。

限于编者水平,加上时间仓促,书中疏漏及欠妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

编　者

1985年12月

再 版 前 言

根据科学技术发展与教学的需要，又考虑到广大读者的意见，本书作了适当修订，主要是：

1. 保持本书第一版风格，改正第一版中的疏漏和错误。

2. 删去第一版中不常用的一些内容，如SY2-Ⅳ型数字表等；加强了脉冲技术部分内容，如555定时器及其应用等；此外，补充了相关内容的例题和练习题。

3. 加强了对中、大规模集成电路的介绍。

4. 为方便读者自学需要，在书后增加了部分练习题答案。

由于修订时间仓促，书中仍会有不少错、漏之处，敬请读者批评指正。

编者

1993年10月于大连理工大学

目　　录

第一章　二　进　制

在社会生活和生产劳动的实践中，人类广泛地利用十进位的计数制（简称十进制）。但是，在电子计算机和自动控制领域里，却经常采用二进制。这是因为要表达十进制数中的任何一位，就要有能区分十个状态的元件，制作这样的元件相当困难；而二进制中的任何一位，仅有“1”和“0”两个数码，只要利用具有两种不同状态的元件就能表达出来，电路既简单又经济。

本章主要讨论什么是二进制，二进制与十进制的相互转换，二进制运算以及二－十进制表示法等。

1-1　什么是二进制

为了弄清什么是二进制，首先从大家熟悉的十进制谈起。

一、十进制

一讲到数，人们马上会想到“0、1、2、…、9”和“个、十、百、千、万…”这些熟知的十进制数。十进制的基数是10，基本规律是“逢十进一”。在十进制中，任何一个数的每一位都是由十个不同的数字符号“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”来表示的，这些数字符号称为数码。数码在数列中的位置不同，代表的意义是不同的。例如数5905，通常念做五千九百零五，可以用10的幂的整倍数之和来表示为

$$5905 = 5 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

可见，5905中两个相同数码5所代表的数值是不同的，这要看它

①

处于数列中的第几位。这里 $10^0, 10^1, 10^2, 10^3, \cdots$ 叫做十进制的“权”。很明显，数码在数列中所处的位置越高，“权”越大，该数码代表的数值就越大。

这样，一个 n 位的十进制数字 N_{10}①的一般式子可写成 $N_{10} = K_{n-1} \times 10^{n-1} + K_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + K_1 \times 10^1 + K_0 \times 10^0$ 式中 $K_{n-1}, K_{n-2}, \cdots, K_0$ 分别为各位“权”的系数，它们可以是 0，1，2，…，9 中的任一个数码。

二、二进制

以 2 为基数的数制称为二进制。它的规律是“逢二进一”，每位数码只可能有“0”或“1”两种符号。这里“0”和“1”的意义与十进制中 0 和 1 是相同的，但数码所在位置的“权”却不再是 $10^0, 10^1, 10^2, \cdots, 10^n$，而是 $2^0, 2^1, 2^2, \cdots, 2^n$。所以，一个 n 位二进制数的一般形式为

$$N_2 = X_{n-1} \times 2^{n-1} + X_{n-2} \times 2^{n-2} + \cdots + X_1 \times 2^1 + X_0 \times 2^0$$

式中各个位的系数 $X_{n-1}, X_{n-2}, \cdots, X_1, X_0$ 只能是“1”或“0”。

例如二进制数“1011”代表十进制数 11，这是因为

$$\begin{aligned} N_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 \\ &= 8 + 0 + 2 + 1 \\ &= 11 \end{aligned}$$

我们写作 $(1011)_2 = (11)_{10}$。

表 1-1 给出了二进制数与十进制数的对应关系。

顺便指出，一个二进制数字（“1”或“0”）称为一位，国际上又称为 1 比特。比特(bit)，即英文二进制数字的缩写。如上面提到的二进制数“1011”是四位，也称为 4 比特。

① 在数字之后加下标，以表示它是什么进制的数。

表 1-1　二进制数与十进制数的对照表

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
0	0	110	6	1100	12	100000	32
1	1	111	7	1101	13	⋮	⋮
10	2	1000	8	1110	14	1000000	64
11	3	1001	9	1111	15	⋮	⋮
100	4	1010	10	10000	16	10000000	128
101	5	1011	11	⋮	⋮	⋮	⋮

1-2　二进制数与十进制数的相互转换

如上所述，数字电路是以二进制方式工作的，但人们却习惯于采用十进制计数，因此经常需要在两者之间进行转换。

一、十进制数转换成二进制数

将十进制整数转换成二进制数可采用连续除 2、记录余数的方法，即“除 2 取余”法。其转换原理如下：

设有一个十进制数 N_{10}，将它转换成一个 n 位的二进制数，可写成：

$$N_{10}=(X_{n-1}X_{n-2}\cdots X_1X_0)_2$$

等式右边的二进制数也可按二进制的“权”写成：

$$N_{10}=X_{n-1}\times 2^{n-1}+X_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+X_1\times 2^1+X_0$$

现在的问题是应该求出 $X_{n-1},X_{n-2},\cdots,X_1,X_0$ 来。为此，我们先将等式两边同时用 2 除，得

$$\begin{aligned}\frac{N_{10}}{2}&=\frac{1}{2}(X_{n-1}\times 2^{n-1}+X_{n-2}\times 2^{n-2}+\cdots+X_1\times 2^1)+\frac{X_0}{2}\\&=(X_{n-1}\times 2^{n-2}+X_{n-2}\times 2^{n-3}+\cdots+X_1)+\frac{X_0}{2}\end{aligned}$$

式中令 $Q_1 = (X_{n-1} \times 2^{n-2} + X_{n-2} \times 2^{n-3} + \cdots + X_1)$，则

$$N_{10} = 2Q_1 + X_0$$

显然，式中 Q_1 为除 2 后所得的商，X_0 为余数；而 X_0 正是我们所要求的二进制数的最低位，即是 2^0 位，叫做第零位。

然后将所得的商 Q_1 再除以 2，又得新商 Q_2 及其余数 X_1

$$Q_1 = 2Q_2 + X_1$$

式中余数 X_1 正好为二进制数的次低位，即是 2^1 位，叫第一位。如此连续对新商除以 2，于是得到

$$\begin{aligned} Q_2 &= 2Q_3 + X_2 \\ Q_3 &= 2Q_4 + X_3 \\ &\vdots \\ Q_i &= 2Q_{i+1} + Q_i \\ &\vdots \end{aligned}$$

一直进行到商为 0，余数为 X_{n-1} 止。于是，就得到一系列余数 X_{n-1}、X_{n-2}、…、X_1、X_0，这些数不是“1”就是“0”，正是我们所要求的二进制数。

例 1-1 将十进制数 $(39)_{10}$ 转换成二进制数。

解：运用“除 2 取余”法进行的具体变换过程如下：

除 2		取余数	
2	39		
2	19	……1	最低位
2	9	……1	↑ 从下往上排起
2	4	……1	
2	2	……0	
2	1	……0	
	0 商	……1	最高位

故$(39)_{10} = (100111)_2$。

十进制小数化成二进制小数，则有“乘 2 取整”法。即逐次地将十进制小数乘以 2，取下整数部分（一定是“1”或“0”），重复这一过程，一直到最后留下的部分为 0，或者认为已达必要的精度为止。从上往下排起，整数部分的组合，即为对应的二进制小数。

例 1-2 将十进制小数$(0.425)_{10}$转换为二进制数。

解：运用“乘 2 取整”法，具体变换过程如下：

乘 2	取整数	
$0.425 \times 2 = 0.85$ ………………	0	最高位
$0.85 \times 2 = 1.70$ ………………	1	从上往下排起 ↓
$0.70 \times 2 = 1.40$ ………………	1	
$0.40 \times 2 = 0.80$ ………………	0	
$0.80 \times 2 = 1.60$ ………………	1	
$0.60 \times 2 = 1.20$ ………………	1	最低位
…………		

我们取六位即可。故

$$(0.425)_{10} = (0.011011)_2$$

如果某十进制数既有整数部分又有小数部分，则应分别将其整数部分和小数部分化成二进制数后，再行相加（即用小数点把两部分连接起来），就可得到所要求的二进制数。比如，十进制数$(39.425)_{10} = (39)_{10} + (0.425)_{10}$，其对应的二进制数为

$$(100111)_2 + (0.011011)_2 = (100111.011011)_2$$

二、二进制数转换成十进制数

将二进制数变换成十进制数是比较简单的，只需把二进制数系数为“1”的各项按“权”相加即可。

例 1-3 试将二进制数$(101101)_2$转换成十进制数。

解：$(101101)_2$

$$= 2^5 + 0 + 2^3 + 2^2 + 0 + 2^0$$

$$= 32 + 8 + 4 + 1$$

$= (45)_{10}$

下面将二进制数各位的“权”列于表 1-2。

表 1-2 二进制各位的“权”

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

1-3 二进制运算

由于二进制和十进制一样，是利用数码的值和位的概念，所以两者的四则运算也是相似的。二进制四则运算的基本规则如下：

一、加法运算

就一位(1 比特)来说，加法基本运算有下面四种情况：

$$\begin{array}{r}0\\ +)\ 0\\ \hline 0\end{array}\ ;\quad \begin{array}{r}0\\ +)\ 1\\ \hline 1\end{array}\ ;\quad \begin{array}{r}1\\ +)\ 0\\ \hline 1\end{array}\ ;\quad \begin{array}{r}1\\ +)\ 1\\ \hline \underset{\text{进位}}{\underset{\downarrow}{1}}\ 0\end{array}$$

其中第四种情况要注意：当 1 + 1 时，本位为“0”，同时向高位进“1”。

如果有许多位二进制数相加，可由低位到高位逐位相加，有进位时就进到相邻的高位上，“逢二进一”。

例如二进制数$(1101)_2$和$(1011)_2$相加，则加法过程如下：

$$\begin{array}{rl}
1\ 1\ 0\ 1 & \cdots\cdots\cdots\cdots \text{被加数}\\
1\ 0\ 1\ 1 & \cdots\cdots\cdots\cdots \text{加数}\\
+)\ 1\ 1\ 1\ \ \ & \cdots\cdots\cdots\cdots \text{进位}\\ \hline
1\ 1\ 0\ 0\ 0 & \cdots\cdots\cdots\cdots \text{和}
\end{array}$$

其中，第三位有三个“1”相加，相加结果得到本位的和为“1”，同时

向高位进“1”。

二、减法运算

减法基本运算也有下面四种情况：

$$\begin{array}{r} 0 \\ -)\ 0 \\ \hline 0 \end{array}\ ;\quad \begin{array}{r} 0 \\ -)\ 1 \\ \hline [1]\ 1 \\ \downarrow\quad \\ \text{借位}\ \ \end{array}\ ;\quad \begin{array}{r} 1 \\ -)\ 0 \\ \hline 1 \end{array}\ ;\quad \begin{array}{r} 1 \\ -)\ 1 \\ \hline 0 \end{array}$$

从第二种情况看出：当 0 － 1 不够减时，要从高位上借“1”，借来的“1”在本位被当作 2，即“借一当二”，然后进行相减，这叫借位。

若有两位以上二进制数相减时，要一位一位地进行相减，当每位的减数大于被减数时，要从相邻的高位上借数，“借一当二”。

例如二进制数$(1010)_2$和$(0101)_2$相减，则减法过程如下：

$$\begin{array}{rccccl} & 1 & 0 & 1 & 0 & \cdots\cdots\cdots\ \text{被减数} \\ & 0 & 1 & 0 & 1 & \cdots\cdots\cdots\ \text{减数} \\ & & \nearrow & & \nearrow & \\ +) & 1 & & 1 & & \cdots\cdots\cdots\ \text{借位} \\ \hline & 0 & 1 & 0 & 1 & \cdots\cdots\cdots\ \text{差} \end{array}$$

这种减法运算叫做直接减法。要特别指出的是，在计算机和数控装置中进行减法运算时，通常不是做直接减法，而是采用补码运算，即将减数（或负数）变成补码。由于引进了补码，减法运算就变成加法运算。关于补码运算，请参看下一节。

三、乘法运算

二进制的乘法运算要比十进制乘法简单得多，最基本的运算亦有下面四种情况：

$$\begin{array}{r} 0 \\ \times)\ 0 \\ \hline 0 \end{array}\ ;\quad \begin{array}{r} 0 \\ \times)\ 1 \\ \hline 0 \end{array}\ ;\quad \begin{array}{r} 1 \\ \times)\ 0 \\ \hline 0 \end{array}\ ;\quad \begin{array}{r} 1 \\ \times)\ 1 \\ \hline 1 \end{array}$$

两位以上二进制数的乘法运算和十进制的乘法运算一样，先做部分积，然后进行移位相加。

例如二进制数$(1101)_2$与$(1011)_2$相乘，其过程如下：

$$
\begin{array}{rcccccccccl}
 & & & & & 1 & 1 & 0 & 1 & \cdots\cdots\cdots & \text{被乘数} \\
 & & & & \times) & 1 & 0 & 1 & 1 & \cdots\cdots\cdots & \text{乘数} \\
\hline
 & & & & & 1 & 1 & 0 & 1 & & \\
 & & & & 1 & 1 & 0 & 1 & & & \\
 & & & 0 & 0 & 0 & 0 & & & & \\
+) & & 1 & 1 & 0 & 1 & & & & & \\
\hline
 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & & \text{（累加）}\cdots\cdots \text{乘积}
\end{array}
$$

四、除法运算

除法运算也和十进制一样，实际上是乘法和减法的结合。

例如我们做$(100011)_2 \div (101)_2$运算，其过程如下：

$$
\begin{array}{lccccccl}
 & & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \quad \cdots\cdots\cdots \text{商} \\
\cline{2-8}
\text{除数}\cdots\cdots\cdots 101 &) & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \quad \cdots\cdots\cdots \text{被除数} \\
 & -) & & 1 & 0 & 1 & \downarrow & \downarrow \\
\cline{2-7}
 & & & 0 & 1 & 1 & 1 & \\
 & & & -) & 1 & 0 & 1 & \\
\cline{2-8}
 & & & & & 1 & 0 & 1 \\
 & & & & -) & 1 & 0 & 1 \\
\cline{5-8}
 & & & & & & & 0
\end{array}
$$

总结上述二进制的四则运算，我们看出：减法在采用补码之后可以变成加法，乘法是移位跟相加，除法又是减法与乘法的重复。可见，在二进制数的运算中，加法运算是共同的、最基本的，其它运算都可以通过变换，使之成为加法运算。所以，在电子计算机和数控装置中，加法器是最主要的运算部件。关于加法器的构成将在第六章中讨论。