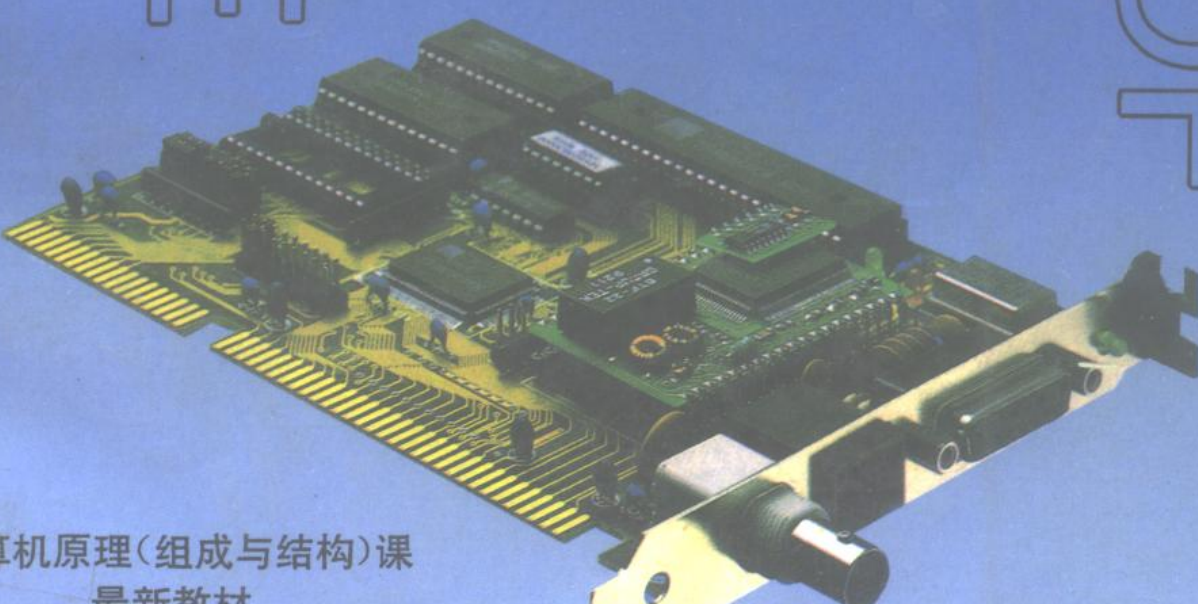
计算机硬件原理教程

A COURSE OF COMPUTER HARDWARE PRINCIPLE

李文兵 编著



计算机原理（组成与结构）课
最新教材

天津科技翻译出版公司

计算机硬件原理教程

李文兵　编著

天津科技翻译出版公司

津新登字(90)010号
责任编辑:陈文美　康　清
封面设计:杜永怡

计算机硬件原理教程

著　者　李文兵

*　*　*

天津科技翻译出版公司出版
(邮政编码:300192)
新华书店天津发行所发行
南开大学印刷厂印刷

*　*　*　*

开本 787×1092 毫米　1/16　印张 25.75　字数 652(千)
1994 年 11 月第一版　1994 年 11 月第 1 次印刷
印数 1－10000 册
ISBN 7-5433-0705-7
TP·16　定价:19.00 元

内 容 简 介

本书由 16 章组成，分别是计算机常用进位制、机器数、编码及代码校验、逻辑代数与逻辑门、组合逻辑电路的解析与设计、计算机基础知识、计算机基本部件、模拟信号传送和变换电路、存储器、存储体系结构、运算器、指令系统、控制器、外部设备、数据输入输出方式、计算机通信与网络。

该书内容先进，结构新颖，重点突出，语言简洁，文笔流畅，文图并茂，深入浅出，通俗易懂，例题丰富，每章后都附有思考练习题，适于作大专院校有关专业计算机原理（计算机组成与结构）课教材，特别适于非计算机专业、师范类院校、电职大、高等教育自学考试计算机原理课，以及软件水平考试的硬件辅导课教材。

前　言

计算机原理是计算机及其有关专业的专业基础课。随着计算机科学与技术的发展，这门课的内容在不断充实、变化；以致连这门课的名称也出现了各种不同的叫法。鉴于这门课程主要是介绍计算机硬件逻辑基础、硬件组织和有关技术的，故作者将本书起名为《计算机硬件原理教程》。

计算机原理课教材是根据具体机型来写，还是脱开具体机型来写，存在着两种看法、两种写法。可以说，两种写法，各有千秋。考虑到如下因素：

・计算机硬件及其技术发展迅猛，就具体机型而写，不宜博采诸家之长；

・就具体机型而写，容易使该课程成为具体机型的硬件系统分析，很难体现该课的技术基础性的特点。

・计算机硬件技术发展至今，日臻完备成熟，已具备脱开具体机型而写的硬件条件。

作者充分利用了计算机硬件发展的成果，采取了脱开具体机型的写法。本书反映了当代计算机硬件发展的先进技术。

作者长期主讲计算机原理课，不但给计算机专业主讲，还为非计算机专业主讲，又担任天津市高等教育自学考试本科计算机原理课主讲。在教授本课的过程中，作者三次编写讲义。本书就是在这些讲义的基础上，重新修改而成的。正因为作者有着针对各种不同对象的教学经验，就使得这本书可以适应各种类别、专业的教学，可以说，本书是高等教育自学考试计算机专业、普通大专院校计算机专业和非计算机专业都适用的三合一教材。这既是作者教学与科研体会的总结，也是一种新尝试。

参加本书编写工作的，还有朱维仲（第 4 章）、罗清佐（第 8 章）、鲍云松（第 14 章）；丁玄功、苏枫、王娜协助做了不少工作，审查了部分书稿。

插图由贾秀荣、李海恩设计，连同李博娜、贾金成一起绘制。刘嫣、张春齐、李秀琼、胡玉霞等参加了校图和贴字工作。

由于时间紧迫，教学条件及作者水平所限，错误及不妥之处在所难免，欢迎专家及广大师生提出宝贵意见。

李文兵

1994 **年** 6 **月**

教材使用说明

本教材是高等教育自学考试计算机专业、普通大专院校计算机专业和非计算机专业的计算机原理课的三合一教材。现将作者使用本教材的情况，介绍给广大师生，供参考。

(1)专业、学时、内容　不同专业的学时和内容安排，如表所示。

主讲学时数	专　业	内　容　安　排
50	高等教育自学考试计算机专业	第1～3章，第6章、§7.4，第9章，11～13章，15章(各章中带*号的节除外)
80	普通大专院校计算机专业	第1～3章，第6、7章，第9～16章
100	普通大专院校非计算机专业	第1～15章(各章中带*号的节除外)

(2)运算符　书中个别运算符，考虑到教学上的方便，没有强调一致，例如：

①+号　在4、5章中代表逻辑或，与符号∨等效；而在11章个别场合则代表算术运算的加。

②⊕号　代表异或逻辑，与∨等效。

③·号　代表逻辑与，与∧等效。

(3)实验课　有条件的学校，最低限度安排8次实验，建议：

①寄存器和计数器
②总线缓冲器
③存储器组织及其读写
④运算器功能
⑤指令代真(人工汇编)
⑥时序电路
⑦PLA控制器
⑧微程序控制器

目　　录

第 1 章　计算机常用进位制

本章介绍进位制及其性质，以及常用进位制之间的转换。

§1.1　进位制

1. 计数制和进位制

所谓计数制就是计数的方式方法。

现在人类采用的计数方法是进位计数制，简称进位制。这种计数方法是按进位的方式计数的。如大家所熟悉的 10 进制，在计数时就是满 10 便向高位进 1，即向高位进位。钟表的计时，也是采用进位计数的方法实现的。即够 60 秒就进位为 1 分；够 60 分就进位为 1 时，等等。这些都是进位计数的例子。

那么说，除了进位计数的方法之外，是不是还有别的计数方法呢？是有的。如'划道'就是一种最原始又是最简单可行的计数方法。这种计数方法是有 1 个数就划上一个道，有 n 个数就划 n 个道。显然，它没有进位的问题，所以它就是非进位计数制。

由上述可见，进位计数制仅是一种计数的方法。换句话说，进位计数制只是计数制的一种。如果我们把计数制和进位制的关系用简单的形式写出来的话，那就如下所示：

$$
\text{计数制}\begin{cases}\text{进位制}\begin{cases}\text{16 进制}\\ \text{10 进制}\\ \text{8 进制}\\ \text{2 进制}\\ \text{其它进制}\end{cases}\\ \text{非进位制}\end{cases}
$$

上面的关系说明，计数制和进位制本来不是一回事。但因为人类一般都是采用进位计数的方法来计数，而非进位制的方法一般都不用；故人们一提到计数制指的就是采用什么样的进位制。这样就把计数制和进位制两者等同起来了。也正是由于以上原因，目前有关教科书里在讨论这个问题的时候，有的叫计数制，有的又叫进位制，说法不一。通过对这个问题的讨论，我们应该清楚，不管两者叫哪一个，实质上都是指进位制的问题。

2. 进位制的性质

为了说明进位计数制这样一种计数方法的特点，我们有必要把 10 进制、8 进制、2 进制三

种计数制的对应关系列成表，如表1.1所示。

表1.1　三种常用计数制对照简表

10进制数	8进制数	2进制数
128	200	10000000
⋮	⋮	⋮
64	100	100000
⋮	⋮	⋮
32	40	100000
⋮	⋮	⋮
16	20	10000
11	13	1011
10	12	1010
9	11	1001
8	10	1000
7	7	111
6	6	110
5	5	101
4	4	100
3	3	11
2	2	10
1	1	1
0	0	0
0·5	0·4	0·1
0·25	0·2	0·01
0·125	0·1	0·001
0·0625	0·04	0·0001
0·03125	0·02	0·00001
0·015625	0·01	0·000001
0·0078125	0·004	0·0000001
0·00390625	0·002	0·00000001

该表中位于同一行的三种进位制的数是等值的，即它们的等值10进制数相等；上半部分为整数部分，下半部分为小数部分。只要我们一观察这个表，就可以看出进位制计数法有如下性质：

【性质1】　R进制所需要的数码就是R个

从表1.1中可以看到：10进制所用数码是10个，即0～9；8进制所用数码是8个，即0～7；2进制所用数码是2个，即0、1。不用说，16进制所用的数码就是16个，即0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。一般地说，对于R进制来说，所用的数码就是0～(R—1)，为R个。

【性质2】　R进制计数时就是逢R进1(若借位则借1为R)

这个性质从表1.1中也看得很清楚。如10进制计到10个数时，个位便变为0，而向上一位(即10位)进1。又如用8进制计数时，当计数到8个时，也是把个位变为0，而向上一位进1，整个数变为10。在2进制计数时，由于不管是哪一位，只要是满2就向上一位进位。因此，在2进制数里决不会出现2和2以上的数码。同样，对于R进制也决不会出现R和R以上的数码。这也正是性质1的根据所在。

【性质3】　R进位制数$(K_nK_{n-1}\cdots K_0K_{n-1}\cdots K_{-m})_R$的十进制数值等于一个多项式的值，即：

$$
\begin{aligned}
(K_n\cdots K_0K_{-1}\cdots K_{-m})_R &= (K_nR^n+K_{n-1}R^{n-1}+\cdots+K_0R^0+K_{-1}R^{-1}+K_{-2}R^{-2}+\cdots+R_{-m}R^{-m} \\
&= (\sum K_iR^i)_{10} \qquad (1.1)
\end{aligned}
$$

该多项式叫**权展开式**。

式中： R称为基数，表示是R进制；

K 称为系数，对于 R 进制来说，可在 0～(R－1)之间的 R 个数码中选取；

n、m 为幂指数，均为正整数。

下脚 R 和 10 表示等式两边分别是 R 进制和 10 进制，以后同。多项式以 K_0R^0 为界，K_0R^0(含其本身)以左为该数的整数部分，以右(不含其本身)为该数的小数部分。

【例 1.1】 请写出 10 进制数 N＝6894.57 的多项式形式。

【解】

$$\begin{aligned} N &= 6894.57 \\ &= 6000+800+90+4+0.5+0.07 \\ &= 6\times10^3+8\times10^2+9\times10^1+4\times10^0+5\times10^{-1}+7\times10^{-2} \end{aligned}$$

【例 1.2】 请写出 2 进制数 1011.11 的多项式形式。

【解】

$$\begin{aligned} N &= 1011.11 \\ &= 1000+10+1+0.1+0.01 \\ &= 8+2+1+0.5+0.25 \\ &= 1\times2^3+0\times2^2+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-1}+1\times2^{-2} \end{aligned}$$

其中第 2 步是根据表 1.1 写出的，如根据表 1.1，2 进制数 1000 就等于十进制数 8；2 进制 10 就等于十进制数 2，等等。

3. 权及其性质

从例 1.1 和例 1.2，我们看到了任何一个 R 进制数确实可以写成相应的多项式的形式。反之，这也说明了任何一个数除用以 R 为基数的多项式表示之外，还可以直接用其各项的系数的序列来表示，如：6894.57、1011.11，各位的数码正是多项式中各项的系数。

因为式 1.1 两边的十进制数值是一样的，所以就式 1.1 左边的 i 位 K_i 来说，当 $K_i=1$ 时，其所表示的十进制数值应该等于 R^i。这个值 R^i 就称为式 1.1 左边第 i 位的“权”。很显然，任何 R 进制数其各位都是具有一定的权的。也正是因为如此，才可以用式 1.1 的左边来代表式 1.1 的右边。

R 进制数各位权的大小，如表 1.2 所示。

表 1.2　R 进制数各位的“权”

位数 / 权值	n　n－1　……　2　1　0	－1　－2　…　m－1　－m
R_i	R^n　R^{n-1}　……R^2　R^1　R^0	R^{-1}　R^{-2}　…　R^{m-1}　R^{-m}

根据表 1.2，可得 10 进制数、2 进制各位的权值，如表 1.3 所示。

表 1.3　10 进制、2 进制数各位的“权”

位数 / 权值	n　n－1 … 2　1　0	－1　－2 … m－1　－m
10^i	10^n　$10^{n-1}\cdots10^2$　10^1　10^0	10^{-1}　$10^{-2}\cdots10^{-(m-1)}$　10^{-m}
2^i	2^n　$2^{n-1}\cdots 2^2$　2^1　2^0	2^{-1}　$2^{-2}\cdots 2^{-(m-1)}$　2^{-m}

"权"的概念很重要，在进位制转换中尤其有用，故我们详细讨论一下它的性质。分析一下表 1.2 或者是表 1.3，我们便不难得出"权"的如下性质。

【性质 1】 所有进位制数（R≥2）其整数部分最低位（即表中 0 号位）的"权"都是 1。因此，不管 R 等什么，都可以把 0 号位称为个位。

【性质 2】 R 进制数相邻两位"权"的比值为 R，即是说，左边一位的"权"比其相邻的右边一位的权大 R 倍。

利用性质 1 和 2，我们可以很快地把一个 R 进制数各位的"权"写出来，进而很方便地就把这个数化成 10 进制数。

【例 1.3】 请把 2 进制数 1110110101 化为 10 进制数。

【解】 首先把这个 2 进制数各位的"权"写出来。方法就是先把个位的"权"1 写出来。然从右向左逐位乘以 R（这里为 2）所得结果如下：

1	1	1	0	1	1	0	1	0	1
512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

然后把 $K_i=1$ 的位的"权"相加即可。于是：

$$(1110110101)_2=512+256+128+32+16+4+1=(949)_{10}$$

【性质 3】 一个 R 进制数其整数部分第 n 位（即 0 号位算第 1 位向左数）的"权"是 R^{n-1}；而小数部分第 m 位（即 −1 号位算第 1 位向右数）的权是 R^{-m}。

下面的例题 1.4 利用性质 3 解就很方便。

【例 1.4】 n 位全是 1 的 2 进制整数是多大。

【解】：

$$(\underbrace{11\ \cdots\ 1}_{n个1})_2=(\underbrace{11\ \cdots\ 1}_{n个1}+1)-1=1\underbrace{00\ \cdots\ 0}_{n个0}-1=2^{(n+1)-1}-1=2^n-1$$

根据"权"的性质，我们不难得出如下结论：

一个 R 进制数乘以 R^i 等于该数的小数点右移 i 位（若小数点位置固定，则等于整个数列左移 i 位）；除以 R^i，则等于该数的小数点左移 i 位，（若小数点位置固定，则等于整个数列右移 i 位）。

该结论的实用价值就在于，我们可用移位的办法来实现 R 进制数乘除 R^i 的运算。这一点意义很大，因为数字电路实现移位要比实现乘除来得容易得多。

【例 1.5】 计算　1011.01×2^3

【解】 $\because 1011.01\times2^3=(1\times2^3+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-2})\times2^3$

$\therefore 1011.01\times2^3=1\times2^6+1\times2^4+1\times2^3+1\times2^1$

$=1011010$（小数点右移 3 位）

【例 1.6】 计算　$1011.01\div2^3$

【解】 $\because 1.011.01\div2^3=(1\times2^3+1\times2^1+1\times2^0+1\times2^{-2})\times2^{-3}$

$\therefore 1011.01\div2^3=1\times2^0+1\times2^{-2}+1\times2^{-3}+1\times2^{-5}$

$=1.01101$（小数点左移 3 位）

§1.2 常用进位制间的转换

2、8、10、16 进制是计算机常用的进位制，故本节只讨论它们之间的相互换算。

1. 2(R)进制数化为 10 进制数

把一个 2 进制数化为 10 进制数只要应用式(1.1)所示的**权展开式**即可。

【例 1.7】 把 2 进制数$(11001)_2$化为 10 进制数。

【解】

$$
\begin{aligned}
(11001)_2 &= 1\times2^4+1\times2^3+1\times2^0\\
&=16+8+1\\
&=(25)_{10}
\end{aligned}
$$

【例 1.8】 把 2 进制数$(110.101)_2$化为 10 进制数。

【解】

$$
\begin{aligned}
(110.101)_2 &= 1\times2^2+1\times2^1-1\times2^{-1}+1\times2^{-3}\\
&=4+2+0.5+0.125\\
&=(6.625)_{10}
\end{aligned}
$$

同样，把一个 R 进制数化为 10 进制数只要将其系数代入到它的多项式表达式中即可。

【例 1.9】 请把 8 进制数$(76.543)_8$化为 10 进制数。

【解】

$$
\begin{aligned}
(76.543)_8 &= 7\times8^1+6\times8^0+5\times8^{-1}+4\times8^{-2}+3\times8^{-3}\\
&=56+6+\frac{5}{8}+\frac{3}{64}+\frac{3}{512}\\
&=62+0.625+0.625+0.005859375\\
&=62.693359375
\end{aligned}
$$

2. 10 进制整数化为 2(R)进制整数

由前面所介绍的进位制的性质可知，任何一个 10 进制数可用一个 2 进制数的多项式(即基数为 2、系数为 0 或 1 的多项式)来表示，即：

$$N=K_n2^n+K_{n-1}2^{n-1}+\cdots+K_12^1+K_02^0$$

因此，只要求出系数$K_n,K_{n-1},\cdots K_1,K_0$，那么所求 2 进制就是：

$$N=K_nK_{n-1}\cdots K_1K_0 \tag{1.2}$$

下面我们采用数位分离办法来逐一求出各系数。对 1.2 式两边同时除 2 得：

$$\frac{N}{2}=K_n2^{n-1}+K_{n-1}2^{n-2}+\cdots+K_12^0+K_02^{-1} \tag{1.3}$$

1.2 式两边的整数部分应该相等，小数部分也应该相等。所以

$$\frac{N}{2}\text{的整数部分 } N'=K_n2^{n-1}+K_{n-1}2^{n-2}+\cdots+K_12^0 \tag{1.4}$$

$$\frac{N}{2}\text{的小数部分}=K_02^{-1} \tag{1.5}$$

$$\text{而}\frac{N}{2}\text{的小数部分}=\frac{\frac{N}{2}\text{的余数}}{2} \tag{1.6}$$

将式 1.6 代入到式 1.5 得：

$$\frac{\frac{N}{2}\text{的余数}}{2}=K_0 2^{-1}$$

$$\therefore K_0=\frac{N}{2}\text{的余数}$$

同理对式 1.4 两边除 2 得：

$$N''=K_n 2^{n-2}+K_{n-1}2^{n-3}+\cdots+K_2 2^0$$

$$K_1=\frac{N'}{2}\text{的余数}$$

依次类推，我们可求出全部系数。由此，可得出 10 进制整数化为 2 进制整数的方法：**除 2 取余**。

【例 1.10】 请把 25 转换成 2 进制数

【解】

$$\begin{array}{r|l}
2 & 25 \quad \text{余}\ \dot{1} \\ \hline
2 & 12 \quad \text{余}\ 0 \\ \hline
2 & 6 \quad \text{余}\ 0 \\ \hline
2 & 6 \quad \text{余}\ 1 \\ \hline
2 & 1 \quad \text{余}\ 1 \\ \hline
 & 0
\end{array}$$

$\therefore (25)_{10}=(11001)_2$

请注意，第 1 个余数上面的小数点是为说明被转换的数是整数，故结果也应该是 2 进制整数，位于小数点的左侧。如果我们把结果连同小数点一起写出来的话，则从左到右的顺序应是：11001。可见，有这么一个小数点，它可以帮助我们预防把位数写倒。

此外，还有一种转换方法用起来也挺方便，这就是权叠加法。这种方法需要首先把足够位的“权”写出来，然后选出相应的“权”叠加，使其叠加结果与要转换的 10 进制数相等。最后把选中“权”的位写为 1，而其余位写为 0，即得所求 2 进制数。

【例 1.11】 把$(39)_{10}$、$(100)_{10}$化为 2 进制数。

【解】 对于这两个数，2 进制位数取 7 位足够，即：

	1	1	1	1	1	1	1
权	64	32	16	8	4	2	1

于是

$$(39)=32+\cdots+4+2+1=(100\ 111)_2$$

$$(100)_{10}=64+32+4=(1100\ 100)_2$$

由以上三个例题可以看出：若被转换的 10 进制数是奇数，则转换成的 2 进制数的个位为 1；若被转换的 10 进制数是偶数，则转换成的 2 进制数的个位为 0。

同样，把一个十进制整数转换成 R 进制数的方法是**除 R 取余**。

【例 1.12】 请把$(25)_{10}$转换成 8 进制数

【解】

$$
\begin{array}{r|l l}
8 & 25 & \text{余}\ 1 \\ \hline
\multicolumn{1}{r}{8} & \multicolumn{1}{|l}{3} & \text{余}\ 3 \\ \cline{2-2}
 & \ \ 0 &
\end{array}
$$

$$\therefore (25)_{10}=(31)_8$$

3. 10 进制小数化为 2(R)进制小数

把一个 10 进制小数化为 2 进制的方法是**乘 2 取整**，只要把每次所得到的整数顺序作为小数点后的第 1 位、第 2 位……直到乘积的小数部分为 0 或是达到所要求的位数即可。

这个方法亦可用数位分离办法来证。因为方法与 10 进制整数化为 2 进制数的方法类似，只是把除 2 变为乘 2 即可，故这里没有给出证明，请读者试着推导一下。

【例 1.13】 请把$(0.6875)_{10}$变为 2 进数。

【解】

$$
\begin{array}{r l}
0.6825 & \\
\times\quad 2 & \cdot \\ \hline
1.3750 & \text{取}\ 1 \\
\times\quad 2 & \\ \hline
0.7500 & \text{取}\ 0 \\
\times\quad 2 & \\ \hline
1.5000 & \text{取}\ 1 \\
\times\quad 2 & \\ \hline
1.0000 & \text{取}\ 1
\end{array}
$$

$$\therefore (0.6875)_{10}=(0.1011)_2$$

这里的符号“.”就是小数点，也是为防止出错而点的。因为所求出的数为小数，故小数点一定在最左边。因此，结果写出就如例题所示。

【例 1.14】 请把$(0.9)_{10}$化为 2 进制数。要求小数点后取 7 位。

【解】

$$
\begin{array}{r l}
0.9 & \\
\times\quad 2 & \cdot \\ \hline
1.8 & \text{取}\ 1 \\
\times\quad 2 & \\ \hline
1.6 & \text{取}\ 1 \\
\times\quad 2 & \\ \hline
1.2 & \text{取}\ 1 \\
\times\quad 2 & \\ \hline
0.4 & \text{取}\ 0 \\
\times\quad 2 & \\ \hline
0.8 & \text{取}\ 0
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{rl}
 \times\ 2 & \\
\hline
1.6 & 取 1 \\
 \times\ 2 & \\
\hline
1.2 & 取 1
\end{array}
$$

$$\therefore (0.9)_{10}=(0.1110011)_2$$

同样，将 10 进制小数转换成 R 进制小数的方法是**乘 R 取整**

【例 1.15】 请把小数$(0.015625)_{10}$换算为 8 进制小数。

【解】

$$
\begin{array}{rl}
0.015625 & \\
\times\ 8 & \\
\hline
0.125000 & 取 0 \\
\times\ 8 & \\
\hline
1.000 & 取 1
\end{array}
$$

$$\therefore (0.015625)_{10}=(0.01)_8$$

根据 2、3 所介绍的方法可以得出：要把既有整数部分又有小数部分的十进数转换为 R 进制数，只要分别做$(整)_{10}\to(整)_R$、$(小)_{10}\to(小)_R$，然后$(整)_R+(小)_R$即所求。

【例 1.16】 请把$(56.25)_{10}$化为 2 进制数

【解】

$$
\begin{array}{r|rl}
2 & 56 & 余 0 \\
2 & 28 & 余 0 \\
2 & 14 & 余 0 \\
2 & 7 & 余 1 \\
2 & 3 & 余 1 \\
2 & 1 & 余 1 \\
 & 0 &
\end{array}
\qquad
\begin{array}{rl}
0.25 & \\
\times\ 2 & \\
\hline
0.50 & 取 0 \\
\times\ 2 & \\
\hline
1.0 & 取 1
\end{array}
$$

$$(56.25)_{10}=(111000.01)_2$$

这里需要再一次强调的是，在整数部分和小数部分对接时，两部分的小数点一定要重合在一起，这样就不致把序列写颠倒。

4.2 进制和 8 进制之间的相互转换。

假如有一个数 N，它的 2 进制多项式为：

$$N=K_n2^n+K_{n-1}2^{n-1}+\cdots+K_02^0+K_{-1}2^{-1}+\cdots+K_{-m}2^{-m} \tag{1.7}$$

而它的 8 进制多项式为：

$$N=L_q8^q+L_{q-1}8^{q-1}+\cdots+L_08^0+L_{-1}8^{-1}+\cdots+L_{-p}8^{-p} \tag{1.8}$$

因为式 1.7 和式 1.8 式所表示的是同一个数，故它的整数部分和小数部分应该分别相等，故有

$$K_n2^n+\cdots+K_02^0=L_q8^q+\cdots+L_08^0 \tag{1.9}$$