

A.J. 鲍文斯 著



$X_1(1) = 37.53300$
 $X_1(2) = 38.01100$
 $X_1(3) = 37.64900$
 $X_1(4) = 37.53600$
 $X_1(5) = 37.84900$ $B(1) = -0.17470$
 $B(2) = -0.30330$
 $B(3) = -0.05870$
 $B(4) = -0.17170$
 $B(5) = 0.14130$ $X_1(6) = 0.00000$
 $X_1(7) = 0.00000$
 $X_1(8) = 38.00900$
 $X_1(9) = 37.54600$
 $X_1(10) = 37.64900$ $B(6) = 0.00000$
 $B(7) = 0.00000$
 $B(8) = 0.30130$
 $B(9) = -0.16170$
 $B(10) = -0.05870$

数字测量仪器教程

中国计量出版社

数字测量仪器教程

A.J. 鲍文斯 著

张乃国 等译 倪伟清 等校

中国计量出版社

内 容 提 要

本书是菲利浦测试仪器公司数字测量仪器课的教材。全书重点讲述测量方法，基础知识写得精练，讲述方法新颖，应用篇着重阐述仪器准确度及防护技术等内容。书末附有丰富的题及解答，可供大专院校师生及从事电子测量技术、数字仪器研制和生产的科技人员自学，尤其适于工厂培训技术人员使用。

DIGITAL INSTRUMENTATION

A.J.Bouwens

McGraw-Hill 1984

数字测量仪器教程

A.J.鲍文斯 著

张乃国 等译 倪伟清 等校

++

中国计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

-*-

开本787×1092 1/16 印张 15·75

字数 380 千字 印数 1—8000

1987年5月第一版 1987年5月第一次印刷

统一书号 15210·702

定价 3.60 元

译 者 序

本书是菲利浦测试仪器公司数字测量仪器课的教材，是作者在该公司多年从事数字测量仪器研制与教学经验的总结。全书以讲述基本测量方法为重点，基础知识部分写得比较精练，选材新颖，理论联系实际。特别对测量准确度、仪器准确度以及防护技术的阐述，更有特点。书末附有测量系统、IEC 总线及术语解释等内容，对读者甚有裨益。每章都附有丰富的习题和解答（不只是给出答案），这对于自学者很有好处。所以我们翻译出来以飨读者。

本书可供大专院校有关师生及从事电子测量技术、数字仪器研制和生产的科技人员学习或培训使用。

参加本书初稿翻译的有张乃国、戴世铮、李厚福、梁任秋、张中一、杜龙生、倪建农、张邦灿、张祖刚、黄志杰、金恺、苟剑波、谭林、韩伟、邱虹、张丹虹、沈立颖、杜军、郑焱、杨为民、王跃、刘建。参加初稿校订的有倪伟清、罗什一、梁任秋、张中一。最后由张乃国通审定稿。杜龙生、吉长泽、胡剑林、张亮参加誊稿，北方交通大学蒋焕文教授曾对此书给予推荐，在此一并表示感谢。

限于译校审者水平，缺点与不妥之处恳请读者批评指正。

张 乃 国

1986年6月于清华大学

前　　言

当今，日益增多的电子测量仪器正趋于数字化，在一台仪器里包含有数字电路、数字式显示装置以及数字式遥控装置。初次涉足于数字应用技术的人会碰到许许多多关于数字电路基础知识的文章和课程，却较少见到探讨数字电路在测量仪器中应用的专论，但这种知识对于数字仪器的使用者是非常重要的，它能帮助使用者详细地了解仪器的各种功能，使用起来才能得心应手。

本书将对这方面技术进行详尽的讨论，在内容上分成三大部分：

在第一篇“二进制基础理论与逻辑电路”中论述逻辑元件的基本原理。先介绍数制和布尔代数，再详细地讨论各种逻辑元件。

在第二篇“数字计数器与计时器”中讨论数字仪器的核心问题。虽然数字计数器问世不久，但它已经在电子测量领域里引起了一场革命。因为有了计数器，要使仪器达到以往在实验室的严格条件下才能实现的准确度，已不是什么难事了。大约30多年前出现了第一代数字计数器，但由于使用的是电子管，所以它的体积、重量和耗电量均较大。在60年代初期出现了第二代数字计数器，由于采用了晶体管电路，使仪器变得相当轻巧，但其基本技术指标仍然保持在与电子管型式大致相同的水平上。60年代末期数字集成电路的发展，导致第三代计数器诞生。同时更先进的集成技术（金属氧化物半导体电路，能在一个基片上制作出数字计数器的整个电路——即所谓的大规模集成电路）又促使生产出更新的计数器，最先研制的几种产品已经投放市场。

在第三篇“数字式电压表与万用表”中将要研究数字电压表（DVM）的工作原理。虽然最早的数字电压表体积大，而且价钱昂贵，但不久它们就越来越流行。其根本原因就是对这种仪器不断增加的需求和制造技术的发展，两者相互促进，使当今的数字电压表和数字万用表（DMM）成为成本低、应用广的精密仪器。

与模拟式电压表和万用表相比，数字式仪表为测量技术的发展开辟了新天地。首先在测量准确度上，模拟式显示装置（大多采用动圈式表头）的测量准确度主要由量程及使用者能否正确读取示值所决定。采用数字式显式装置就避免了分辨力的问题，因为我们可以按需要扩大量程的十进制位数。这样就发挥了精密测量技术的各种优点，使得六位数字显示的数字电压表在目前得到了广泛的应用。

数字式仪表的另一个重要特点是采用模-数转换技术，可以把测量数据进行长距离传送，输入到计算机里去处理并储存起来，还可以把它们和预置的参数进行比较，这样就为实现自动控制开辟了道路。

最后一个方面将留在附录中论述，帮助读者更深入地了解测量系统和IEC/IEEE总线。

本书以菲利浦（Philips）测试仪器公司工程师数字测量仪器课为基础而编写的，该课中各种有价值的论述为本书提供了巨大帮助。

鲍文斯

目 录

译者序

前 言

第一篇 二进制基础理论与逻辑电路

第一章 数 制	(1)
1.1 几种主要数制	(1)
1.2 数制的转换	(4)
1.3 二进制数的算术运算	(5)
1.4 补码	(6)
1.5 编码	(9)
习 题	(13)
第二章 布尔代数	(14)
2.1 集合逻辑	(14)
2.2 布尔代数定律	(16)
2.3 布尔代数式的化简	(20)
2.4 最小项和最大项	(20)
2.5 逻辑命题	(22)
习 题	(24)
第三章 逻辑元件	(25)
3.1 与门	(25)
3.2 或门	(27)
3.3 非门 (反相器)	(27)
3.4 与非门	(28)
3.5 或非门	(29)
3.6 禁止门	(29)
3.7 异或门	(30)
3.8 比较器 (符合门)	(30)
3.9 分布连接	(31)
3.10 延时	(31)
习 题	(31)
第四章 组合逻辑电路	(34)
4.1 半加器	(34)
4.2 全加器	(35)
4.3 减法器	(35)

4.4 数码比较器	(37)
4.5 译码器与编码器	(38)
4.6 多路转换器	(41)
习 题	(42)
第五章 双稳元件	(44)
5.1 RS触发器	(44)
5.2 时钟控制的RS触发器	(45)
5.3 D触发器	(46)
5.4 JK触发器	(46)
5.5 时钟控制的JK触发器	(46)
5.6 T(反转)触发器	(47)
5.7 主从触发器	(47)
习 题	(48)
第六章 计数器、定标器与移位寄存器	(50)
6.1 二进制计数器	(50)
6.2 十进制与其它类型计数器	(53)
6.3 定标器	(58)
6.4 移位寄存器	(59)
习 题	(60)
第七章 逻辑元件的电路	(62)
7.1 惯用逻辑	(62)
7.2 基本电路	(63)
习 题	(74)
第八章 接口与转换器	(76)
8.1 接口	(76)
8.2 数码转换器	(78)
习 题	(86)

第二篇 数字计数器与计时器

第九章 基本计数电路	(89)
9.1 输入电路	(89)
9.2 主门	(92)
9.3 十进制计数单元与显示电路	(92)
9.4 时基电路	(98)
9.5 控制电路	(99)
习 题	(99)
第十章 工作模式	(101)
10.1 对输入电信号的累计或计数	(101)
10.2 频率的测量	(101)

10.3 频率比的测量	(105)
10.4 周期的测量	(106)
10.5 时间间隔的测量	(109)
10.6 脉冲宽度的测量	(111)
10.7 输入信号分频	(113)
10.8 自检	(113)
习题	(114)
第十一章 插入式单元及其特殊功能	(115)
11.1 插入单元	(115)
11.2 特殊功能计数器与模块式计数器	(126)
习题	(128)
第十二章 准确度	(129)
12.1 固有误差	(129)
12.2 各种测量方式的误差	(133)
习题	(146)
第三篇 数字电压表与万用表	
第十三章 运算放大器	(147)
13.1 基本原理	(147)
13.2 运算放大器在电压表中的应用	(148)
习题	(150)
第十四章 模-数转换器	(151)
14.1 模-数转换器(ADC)的功能	(151)
14.2 ADC的基本原理	(151)
14.3 数字电压表和万用表对ADC的要求	(151)
14.4 阶梯斜坡及其简单补偿系统	(152)
14.5 逐次逼近方式	(153)
14.6 变频方式	(155)
14.7 双斜率积分式	(156)
14.8 δ脉冲调制式	(158)
14.9 各种模-数转换方式的比较	(159)
习题	(160)
第十五章 数字电压表中的自动装置	(161)
15.1 自动显示极性	(161)
15.2 自动转换量程	(161)
15.3 自动调零	(163)
15.4 全自动仪表	(163)
15.5 数字电压表的组成	(163)
15.6 显示与译码器	(165)

习题	.....	(166)
第十六章 数字万用表电路	.....	(167)
16.1 直流电压衰减器	.....	(167)
16.2 电流-电压转换器	.....	(168)
16.3 交流-直流转换器	.....	(168)
16.4 电阻-电压转换器	.....	(169)
16.5 高频-低频转换器	.....	(170)
习题	.....	(170)
第十七章 数字电压表的准确度	.....	(171)
17.1 直流电压测量中的误差源	.....	(171)
17.2 非直流电压测量的误差源	.....	(173)
17.3 频率范围	.....	(174)
17.4 噪声	.....	(175)
17.5 结论	.....	(175)
17.6 数字电压表的优缺点	.....	(175)
习题	.....	(176)
第十八章 防护技术	.....	(177)
18.1 安全防护地与信号地的区别	.....	(177)
18.2 接地回路与接地电流	.....	(177)
18.3 共模与串模电压	.....	(178)
18.4 防止测量通路中寄生电压的措施	.....	(180)
18.5 实际应用	.....	(189)
习题	.....	(189)
第十九章 交流及其有效值的测量	.....	(192)
19.1 交流测量中存在的误差	.....	(192)
19.2 测量电路中存在的系统误差	.....	(193)
19.3 有效值的含义	.....	(195)
19.4 数字万用表中的有效值转换器	.....	(197)
19.5 有效值的测量	.....	(198)
19.6 有效值与真有效值	.....	(200)
19.7 有效值的数学推导	.....	(203)
习题	.....	(205)
附录一 测量系统	.....	(207)
附录二 IEC 总线	.....	(209)
附录三 术语汇编	.....	(220)
附录四 习题解答	.....	(230)

第一篇

二进制基础理论与逻辑电路

第一章 数 制

凡数字设备几乎都采用二进制，因为它很简单。二进制只用两个数字符号就能表示出任意一个数。由于数字仪器通常用不同的电平代表数，因此，使用二进制比较方便。如果采用十进制，电路必须准确地表达不同数的十个电平。当然，精心设计这种电路也是可能的，但电路极为复杂而且可靠性很差。

1.1 几种主要数制

在详细分析二进制之前，我们首先简要复习一下目前通用的几种数制。

一、十进制

十进制是最常用的数制，因为人皆有十个手指。大家都知道数1972的构成是：右边最低数位LSD(least significant digit) 表示 10^0 的若干倍，右边第二位表示 10^1 的若干倍，等等，直到左边的最高数位MSD (most significant digit) 为止，该数位在上例中表示 10^3 的若干倍。因此，该数可以表示为：

$$\begin{aligned} 1972 &= 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 2 \times 10^0 \\ &= 1000 + 900 + 70 + 2 \end{aligned}$$

任何一个数（包括所有自然数）都可以表示成上面的形式，小数也可以表示成类似的形式。例如：

$$\begin{aligned} 19.72 &= 1 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 7 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2} \\ &= 10 + 9 + 7/10 + 2/100 \end{aligned}$$

同罗马数字比较，十进制的优点是：十进制的位以10为倍数，所以算术运算相当简单。例如，乘以10，则数的各位向左移一位，而除以10，则向右移一位。例如：

1972向左移位得19720 1972向右移位得19.72

一般，可以把 r 进制数表示成如下形式：

$$\begin{aligned} a_n \times r^n + a_{n-1} \times r^{n-1} + \cdots + a_2 \times r^2 + a_1 \times r + a_0 \\ + a_{-1} \times r^{-1} + a_{-2} \times r^{-2} \cdots a_{-m} \times r^{-m} \end{aligned}$$

系数 a 可以在 0 到 $r-1$ 的范围内取值。因此，二进制 ($r=2$) a 可以取两个值：0 和 1；八进制 ($r=8$) 可以取八个值：0 到 7；十进制 ($r=10$) 可以取十个值：0 到 9；十六进制 ($r=16$) 可取 16 个值：0 到 F (见表 1.1)，因为只有十个数字符号可用于记数，所以，我们借用字母表中的前六个字母作为十六进制的另外六个符号。

二、二进制

为了简化电路设计，提高电路可靠性，数字设备通常采用二进制数制。二进制是以 2 为基数，所以只有两个数字符号：0 和 1。仪器只需辨别两种独立状态即可。这两种状态可以是无脉冲 (0) 或有脉冲 (1)；低电平 (0) 或高电平 (1)；开关打开 (0) 或开关闭合 (1)；无电流 (0) 或有电流 (1) 等等。

它所用的记数法如表 1.1 所示，该表列出了对应于一系列十进制数的二进制数。从表中可以看出，十进制数 100 需要用 7 位二进制数表示。通常把二进制的 0 和 1 统称作“位”

表 1.1 不同基数的数值

十进制			二进制							八进制			十六进制	
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
0	0								0	0	0	0	0	0
0	1								1	0	0	1	1	1
0	2							1	0	0	0	2	2	2
0	3						1	1	0	0	0	3	3	3
0	4					1	0	0	0	0	0	4	4	4
0	5				1	0	1	0	1	0	0	5	5	5
0	6			1	0	1	1	0	0	0	0	6	6	6
0	7		1	0	1	1	1	0	1	0	0	7	7	7
0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8	8
0	9	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	9	9
1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	A	A
1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	B	B
1	2	1	1	0	0	0	1	1	0	1	4	4	C	C
1	3	1	1	0	1	0	0	1	1	1	5	5	D	D
1	4	1	1	1	0	0	0	1	1	1	6	6	E	E
1	5	1	1	1	1	0	0	1	1	1	7	7	F	F
1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	4	4	6	6
1	2	7	1	1	1	1	1	1	1	1	7	7	7	F

(bits)，这是二进制数字 (binary digits) 的缩写。

我们可以看到最低数位 (LSD) 仍在最右边。当我们从右向左移一位时，每位数字对应的以 2 为基数的幂次数加 1。如果使用逐次降幂的负指数，也可以表示小数；小数点右边的

数字按幂次递减顺序排列，每一位对应的以 2 为底的幂是其前一位幂的一半。因此，二进制数

$$1.1101 = 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4}$$

用十进制可表示为：

$$1 + 1/2 + 1/4 + 0 + 1/16 = 1.8125$$

应该注意到，尽管用二进制形式可以精确地表示十进制整数，但十进制小数一般却只能近似地转换为二进制数。实际误差将取决于使用的二进制数字，其值通常很小。尽管如此，这并不意味二进制的准确度低于十进制；要表示相同准确度的一个量，二进制要求的位数要比十进制多。

三、八进制

广泛用于计算机技术的数制是八进制。该数制易于进行二进制与八进制间的相互转换。因此，有较大的实用性。八进制包括以下几个数字符号：0，1，2，3，4，5，6，7。大于7的数用八进制表示时，需要用几个数字符号。例如：

$$\begin{aligned} 765_8^* &= 7 \times 8^2 + 6 \times 8^1 + 5 \times 8^0 \\ &= 7 \times 64 + 6 \times 8 + 5 \times 1 = 501_{10} \end{aligned}$$

因为八进制的基数为 8，而 $8 = 2^3$ ，所以，利用表1.2很容易将八进制转换为二进制。

表 1.2 八进制与二进制的关系

二进制	八进制	二进制	八进制
0 0 0	0	1 0 0	4
0 0 1	1	1 0 1	5
0 1 0	2	1 1 0	6
0 1 1	3	1 1 1	7

例如，把二进制数101011分成3位一组，直接转换为八进制：

二进制：101/011

八进制：5 3

检验一下，二进制数101011等于

$$1 \times 2^5 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 43_{10}$$

八进制53等于

$$5 \times 8^1 + 3 \times 8^0 = 43_{10}$$

四、十六进制

应用于计算技术的另一种数制是十六进制。该数制以 16 为基数，表1.1已列出所使用的符号。正如八进制一样，十六进制与二进制之间的转换也很容易。因为 $2^4 = 16$ ，所以十六进制的一位数对应于二进制的四位数字。转换可参考表1.1进行，例如：

* 765₈ 表示以八进制书写的数765

$$225_{10} = 11100001_2 = E1_{16} = 341_8$$

1.2 数制的转换

一、二进制/八进制转换为十进制

1. 最高数位乘以8。
2. 乘积与下一数位相加，再乘以8。
3. 重复步骤2，直到最低数位。
4. 将最低数位值与最后得到的乘积相加。
5. 得到的结果就是所要求的十进制数。例如：

二进制 111/011/101/001

八进制 7 3 5 1

转换方法

$$[(7 \times 8 + 3) \times 8 + 5] \times 8 + 1$$

$$7 \times 8 + 3 = 59$$

 × 8

$$472 + 5 = 477$$

 × 8

$$3816 + 1 = 3817_{10}$$

这种方法不仅适用于整数，也适用小数，例如：

二进制 111/011. 101/001

八进制 7 3 . 5 1

转换方法

$$(7 \times 8 + 3) + (1 \times 8^{-1} + 5)8^{-8} =$$

$$59.641$$

同理，对于以r为基数的数，用r去乘整数部分的每个数，用r去除小数部分的每个数，两部分结果相加，就是其等效十进制数。

二、十进制转换为八进制/二进制

1. 十进制数除以8，并记下余数(r_1)。
2. 前一步所得的商再除以8，并记下余数(r_2)。
3. 重复步骤2，直至商为0。
4. 所要求的数就是 $r_n r_{n-1} \dots r_2 r_1$ 。

例如，十进制数 3817_{10} 转换为八进制数

$$3817 \div 8 = 477 \div 8 = 59 \div 8 = 7 \div 8 = 0$$

$$\begin{array}{r} 32 & 40 & 56 & 0 \\ \hline 61 & 77 & 3 = r_3 & 7 = r_4 \\ 56 & 72 & \hline 57 & 5 = r_2 \\ 56 & \hline 1 = r_1 \end{array}$$

结果为7351(八进制)或111/011/101/001(二进制)。

用类似的方法，可以将十进制小数转换为二进制/八进制/十六进制小数，不同之处只是除法变乘法，用乘积的整数部分代替余数。例如，十进制数59.641₁₀的转换

$$59 \div 8 = 7 \div 8 = 0$$

$$\begin{array}{r} 56 \\ \hline 3 & 0 \end{array}$$

$$0.641 \times 8 = 5.128$$

$$0.128 \times 8 = 1.024$$

$$0.024 \times 8 = 0.192$$

$$0.192 \times 8 = 1.536$$

结果为73.5101(八进制)，3B.A41(十六进制)或111/011/101/001/000/001(二进制)。

一般来说，十进制转化为r进制，除了用r代替上例的8以外，转换方法相同。

1.3 二进制数的算术运算

二进制运算的基本规则与十进制完全相同。因为二进制以2为基数，所以乘以2就向左移位一次，除以2就向右移位一次。例如，二进制数1001=9₁₀，向左移一位，变为：

$$\begin{aligned} 10010 &= 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0 \\ &= 16_{10} + 0 + 0 + 2_{10} + 0 \\ &= 18_{10} \end{aligned}$$

即该数增加了一倍。

向右移一位，得到：

$$\begin{aligned} 100.1 &= 2 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &= 4 + 0 + 0 + \frac{1}{2} \\ &= 4\frac{1}{2}_{10} \end{aligned}$$

即该数减小了一半。

这种标准运算适用于任何进制数，但二进制的运算规则尤为简单。

一、加 法

加法规则只有四种：

$$0 + 0 = 0$$

$$1 + 0 = 1$$

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 1 = 0 \text{ 并进位 } 1$$

举例：

$$00111 = 7_{10}$$

$$00101 = 5_{10}$$

$$01100 = 12_{10} \text{ (第二位、第三位、第四位得到进位)}$$

(歸並二) 001011011111 (歸並八) 123456789
二、減法

只做正同不還不歸也六七三歸並八歸並一式小數還在歸並一歸並加一去負加類似

減法運算時還附需要向前面借位，例如：求 $1100 - 1011$ 的補碼乘積

$$01100 = 12_{10} = 6 + 4 + 2$$

$$\underline{00111 = 7_{10}}$$

$$00101 = 5_{10}$$
 (向第二位、第三位、第四位借位)

$$651 \cdot 2 = 6 \times 100_2 + 1$$

$$650_1 = 6 \times 851_2 + 0$$

二進制乘法非常簡單，它有四個運算規則：

$$0 \times 0 = 0 = 1 \times 0 = 0$$

(歸並二) 100\000\100\101\110\111\0=0 (歸並六) 1\times 1=1 (歸並八) 01123456789
例如：求 111×111 的補碼乘積

$$111 = 7_{10}$$

$$\begin{array}{r} \text{算式} \\ \hline 101 \quad 111 \\ \times \quad 111 \\ \hline 111 \end{array} = 8_{10}$$

這兩算式如乘以二進制或十進制，則結果相同。但補碼乘法與本基算術乘法不同，其運算過程為：
試乘，並一進位向右移一位；被乘一式一進位向左移一位；乘數向右移一位；

$$10011 = 35_{10}$$
 (給前四位進位)
$$1 \times 0 + 0 \times 1 + 1 \times 0 + 0 \times 1 + 1 \times 1 = 01001$$

四、除法

$$0 + 1, 1 + 0, 0 + 1, 1 + 0 =$$

$$01101 =$$

除了中間過程的乘法和減法必須按二進制規則運算外，二進制除法與十進制除法相同。例如：

假設二進制除法

$$\begin{array}{r} 10101 = 21 \\ \div 11 = 3_{10} \\ \hline 11 = 11_0 \\ 111 = 7_{10} \end{array}$$

或者

$$\begin{array}{r} 111 \rightarrow 7_{10} \\ 11 \overline{) 10101 } \\ \hline 11 \end{array}$$

半手工小號運算器
單面式算盤或計算機二進制運算器

$$\begin{array}{r} 11 \\ \hline 11 \\ 011 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11 \\ \hline 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 11 \\ \hline 0 \\ 1 + 1 + 1 \\ 1 + 1 + 1 \\ \hline 1.4 \end{array}$$

補碼

手頭只記數字

半手工小號運算器

計算機或計算器

計算

在算術運算中，把減法轉化為補碼的加法運算更為方便。¹⁰⁰⁰二進制有兩種補碼形式：「進制補碼」及 $(r-1)$ 「補碼」。¹⁰⁰⁰(歸並五位四半，歸三半，歸二半) $111 - 00110$

只，補數二王校。補數補數，指數項明。(1-N) 補數二進制補數
補數二王校，¹取補數補數，指數項明。(1-N) 補數二進制補數，其整數部分是n位數字的和數N，其進制補碼定義為 $r^n - N$ 。

1279_{10} 的10進制補碼為： $10^4 - 1279 = 8721$

127_8 的8進制補碼為： $10^3 - 127_8 = 651$

101_2 的2進制補碼為： $10^3 - 101_2 = 011_2$

果取小數部分的，進制補碼根據同樣道理定義為 $(r^m - N)$ ，其整數部分是n位數字的和數N，其進制補碼定義為 $1 - 0.rN$ 。
 0.1279_{10} 的9進制補碼為： $1 - 0.1279 = 0.8721$

0.127_8 的7進制補碼為： $1 - 0.127_8 = 0.651_8$

0.101_2 的5進制補碼為： $1 - 0.101_2 = 0.011_2$

二、 $(r-1)$ 补码

$(r-1)$ 补码的定义较为复杂。对于以 r 为基数，整数部分 n 位、小数部分为 m 位的正数 N ， $(r-1)$ 补码定义为：

$$r^n - r^{-m} - N$$

举例说明如下：

1279_{10} 的9补码为 $10^4 - 1 - 1279 = 8720_{10}$ （无小数部分，所以 $m=0$ ， $r^{-m}=1$ ）。

0.1279_{10} 的9补码为： $1 - 10^4 - 0.1279 = 0.8720$ （无整数部分，所以 $n=0$ ， $r^{n+1}=1$ ）。

12.79_{10} 的9补码为： $10^2 - 10^{-2} - 12.79 = 87.20$

八进制举例：

127_8 的7补码为： $10^3 - 1 - 127_8 = 650_8$

0.127_8 的7补码为： $1 - 10_8^3 - 0.127_8 = 0.65_8$

1.27_8 的7补码为： $10_8 - 10_8^{-2} - 1.27_8 = 6.50_8$

二进制举例：

101_2 的1补码为： $10^3 - 1 - 101_2 = 010_2$

0.101_2 的1补码为： $1 - 10_2^3 - 0.101_2 = 0.010_2$

1.01_2 的1补码为： $10_2 - 10_2^{-2} - 1.01_2 = 0.10_2$

表1-10 补数表

表1-11 补数表

表1-12 补数表

表1-13 补数表

表1-14 补数表

表1-15 补数表

表1-16 补数表

表1-17 补数表

表1-18 补数表

由此可知，只要 $(r-1)$ 补码的最低数位加 1，即可得到 r 进制补码。对于二进制，只要将二进制各位求反，就可得到 1 补码，再加 1，就可得到 2 进制补码；例如，对于二进制数 11011011 将其 1 补码 00100100 加 1，就得到它的 2 进制补码 00100101。

上表列出了另外一些例子。

三、用 r 进制补码做减法

两个正数相减 $(M - N)$ 方法如下：首先将减数 N 的 r 进制补码与被减数 M 相加。如果有进位，舍去；如果没有进位，将所得的数取 r 进制补码，并添以负号。举例说明如下：

$$M = 1972$$

$$N = 1279 \text{ 十进制补码为 } 8721$$

进位为 1，结果为

$$M = 1279$$

$$N = 1972 \text{ 十进制补码为 } 8028$$

因为无进位，所以取补码，结果为

二进制举例：

$$M = 1100$$

$$N = 0111 \text{ 二进制补码 } 1001$$

进位为 1，结果为

$$M = 0111$$

$$N = 1100 \text{ 2进制补码 } 0100$$

无进位，结果为

四、用 $(r-1)$ 补码做减法

除了使用循环进位外，方法与用 r 进制补码做减法相同。两个正数相减 $(M - N)_r$ ，首先将减数 N 的 $(r-1)$ 补码与被减数相加。如果有进位，将其加到最低数位上；如果无进位，将所得数取 $(r-1)$ 补码，并添以负号。例如：

$$M = 19.72$$

$$N = 12.79 \text{ 9补码}$$

加进位

$$M = 12.79$$

$$N = 19.71 \text{ 9补码}$$

无进位，取补码

$$1972$$

$$+ 8721$$

$$(1)0693$$

$$+ 693$$

$$\hline 1279$$

$$+ 8028$$

$$\hline 9307$$

$$- 693$$

$$\hline$$

$$+ 100$$

$$+ 1001$$

$$(1)0101$$

$$+ 101$$

$$\hline 0111$$

$$+ 0100$$

$$\hline 1011$$

$$- 101$$

$$\hline$$

$$19.72$$

$$+ 87.20$$

$$\hline 106.92$$

$$+ \quad \quad \quad 1$$

$$6.93$$

$$\hline 12.79$$

$$+ \quad \quad \quad 1$$

$$9.37$$

$$\hline 9.396$$

$$- 6.93$$