

电子数字计算机
基础知识讲座

辽宁师范学院数学系

一九七九年三月

《电子数字计算机基础知识讲座》

本讲座的主要对象是师院数学系学员和在职的中学教师，因此力求以最基本的概念，浅显的知识讲述电子数字计算机基础知识。在此基础上，对当前的情况及发展趋势作一些简单的介绍。使得同志们对电子数字计算机有一个概括的了解。

目 录

第一章 计算机的概况和组成	1
第一节 电子计算机的出现和发展.....	1
第二节 电子计算机的组成.....	5
第二章 计算机中数的表示	10
第一节 进位计数制.....	10
第二节 进位制数之间的转换.....	18
第三节 数的定点与浮点表示.....	24
第四节 原码、补码与反码.....	29
第五节 运算方法.....	43
习 题	61
第三章 逻辑代数	63
第一节 逻辑代数简介.....	63
第二节 逻辑代数的基本公式.....	71
第三节 逻辑表达式的化简.....	81
第四节 逻辑代数在设计中的应用.....	106
习 题	108

第一章 计算机的概况和组成

第一节 电子计算机的出现和发展

电子数字计算机是一种能够自动地高速度地进行大量计算工作的机器。它的发现和发展是廿世纪科学技术上的卓越成就之一，它有力的推动着生产、科学技术与文化事业的发展。电子数字计算机的发展和应用使生产的自动化真正成为现实。机器不仅能够代替人们的体力劳动而且能够代替脑力劳动的某些职能。

但是电子数字计算机的出现和发展绝不是偶然的。而是在人类长期生产实践中，为了减轻繁重的劳动和加快计算过程而进行斗争的产物，是生产和科学技术发展的必然结果。

毛主席说：“人类的历史，就是一个不断地从必然王国向自由王国发展的历史。”，历史上，我国劳动人民在计算技术方面就有过卓越的成就。在早春秋战国时代（公元前 770 年至 221 年）便已使用一些小棍摆成不同行列来进行运算，称之为“筹算法”。唐朝末叶，我国民间就出现算盘，算盘的发明年代虽然很难断定，但在南宋（公元 1274 年）时期就有算盘歌（口）诀的记载，后来流传到外国。算盘是我国劳动人民集体智慧的结晶，它成为了世界上最早的计算工具。

之后，伴随着工业革命，国外又相继出现了多种计算工具。1642年出现了第一台机械计算机，1654年出现了简单的对数计算尺，1878年制成了手摇计算机。以后又出现了电动计算机，卡片计算机，微分分析器等。

由于工业生产范围的扩大和科学技术的发展，很多科技部门愈来愈迫切地需要进行更大量的更复杂的，更快速的精确计算。这些简单的计算工具已远远不能满足要求了。如仍使用较简单的计算工具的话，那就需要人们付出成百上千小时的劳动，有时甚至是不可能的。例如：如果用人工来解描述导弹空间运动的整个微分方程组，一个计算员用一架小计算器不停地工作就得需要两年的时间才能完成；又如要准确预报24小时内天气情况需要精密计算，用人工方法需要两星期左右才能算好。显然对于预报来说已失意义了。而用电子计算机就只要几分钟就可以算出精确的结果。还如，美国为了核武器的研制试验，把研制人员抽出来先搞计算机的研制工作，尔后再回去参加氢弹的突破。所有这些，就迫切促使人们能研制一种能高速地、准确地解决复杂的数学问题的计算工具。廿世纪四十年代中期，由于电子学，自动控制技术和现代工业技术的飞跃发展，为研制电子计算机创造了条件。1946年世界上出现了第一台由程序控制的电子数字计算机。这台计算机共用18000支电子管，消耗了近100瓩的电力，并占用了长度为30米以上的房间。虽然庞大，但计算速度确有了惊人的提高，它给计算机的发展开辟了新途径。从这台计算机的出现至今已有卅多年的历

史了，电子数字计算机已有了飞速的发展。现在计算机的计算速度（单位时间内完成加法、减法、乘法或除法等运算次数）已达到每秒钟几十万，几百万，甚至到一亿五千万次。电子数字计算机，也从第一代（46年—56年）的电子管发展到第二代（56年—62年）晶体管，它具有体积小，耗电小、可靠高的特点，并且有了较完整的输入输出装置。后来，又发展到第三代（62年—70年）的集成电路型。集成电路是采用集成技术，把管子、电阻等元件，器件和电路的连线集成在一块尺寸约为 0.25 （毫米）²到 6.5 （毫米²）的基片上。一块这样大小的集成电路可集成4到100个逻辑门电路，从而使计算机大大小型化，功耗下降，可靠性进一步提高了。这一时期软件也系统化了。电子数字计算机的第四代是七十年代初期开始发展的，称之大规模集成电路计算机时代。大规模集成电路是在绿豆大小的面积上，可集成几万乃至几十万个元件。微型计算机只有几十克重，速度可达每秒十万次。电子计算机的发展速度是惊人的，大约每五年到八年，速度提高十倍，体积缩小十倍，成本降低十倍。

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的电子计算机，从无到有，从小到大，从仿制到自行设计，仅在十几年的时间内，就从第一代电子管数字计算机发展到第三代集成电路数字计算机。在大跃进的58年试制成功了第一代电子管数字计算机，填补了我国计算机的空白。59年又生产了DJS—2型大型电子管数字计算机。64年起先后有不少单位研制并生产了

多种晶体管数字计算机。71年我国研制成功每秒运算速度为十几万次的集成电路数字计算机。73年研制成功了每秒一百次的DJS—11和TQ—6大型集成电路数字计算机。74年研制成功DJS—130型小型多用途集成电路数字计算机。

作为电子数字计算机的一个分支——台式计算机（计算器），自72年试制生产以来，短短的两、三年中就象雨后春笋般的迅速发展。据不完全统计已生产的各种晶体管台式机，双极型和MOS型集成电路式机近百种。我们不仅能生产一般的台式机，而且可以生产代程序的高级台式机。袖珍型计算机同样也发展很快。

我国电子计算机的应用，早在六十年代就在原子能，人造卫星，航空，冶金、化工、机械、石油、交通、水利、气象、纺织、卫生等几十个部门和行业中得到初步应用。它在科学技术和生产的计算、数据处理和工业自动化等方面，都取得了较好的效果。例如：在原子弹爆炸和人造地球卫星发射过程中，我国自行设计的电子数字计算机完成了预定的任务，发挥了重要作用；水利部门利用电子计算机对某大型坝体应力的计算，就可节省工程投资上千万元；上海微电机厂设计新型微电机时，利用电子计算机选择最佳方案，每年可节省大量矽钢片和钢材；郑州铁路局利用电子计算机进行数据处理，解决了几十种货运，客运统计报表的及时汇总；DJS—11大型电子计算机对我国地震勘探上亿个数据进行处理，成果显著。电子计算机用于工业生产过程中实时控制，近几年也有较大的突破。例

如三座标铣床的数字控制，高井电站发电机组闭环自动控制和上海羊毛衫八厂实现羊毛衫织机群控等，为生产自动化，半自动化和大幅度提高劳动生产率指出了方向。

目前，我国电子计算机事业的形势一片大好。电子计算机生产所需的元、器件和材料已基本立足于国内配套；从事电子计算机科研和生产的专业队伍已初步形成，为今后的发展建立了良好的基础。但是应该看到我国电子计算机发展的速度，质量和应用等方面比一些先进国家还有一段距离。我们要在英明领袖华主席的领导下，高举毛泽东思想伟大红旗，为在廿世纪实现四个现代化，赶上和超过世界先进水平做出更大的贡献。

第二节 电子计算机的组成

我们知道，电子计算机是求解数学问题的运算工具。通常，我们熟知用笔算或珠算来解题的方法。那末，电子计算机是怎样来解题呢？认识来源于实践。只要我们考察一下人是怎么做计算的，就可以明白电子计算机是怎样来解题的，并由哪几部分组成的。

例如：用笔、纸和算盘来计算 $7 - 2.75 \times 2 = ?$ 这样一道最简单的算题。计算过程大致如下：

第一步：根据给定的题目，想好计算方法和计算步骤，再把计算公式，计算步骤，原始数据等写在纸上。

第二步：在算盘上（或心算）进行计算，按先乘后减的原

则先做乘法，求出中间结果 $2.75 \times 2 = 5.5$ ，写在纸上。然后在算盘上进行减法，求得最后的结果 $7 - 5.5 = 1.5$ 。

第三步：把最后结果1.5写在纸上，完成一道算题的计算。

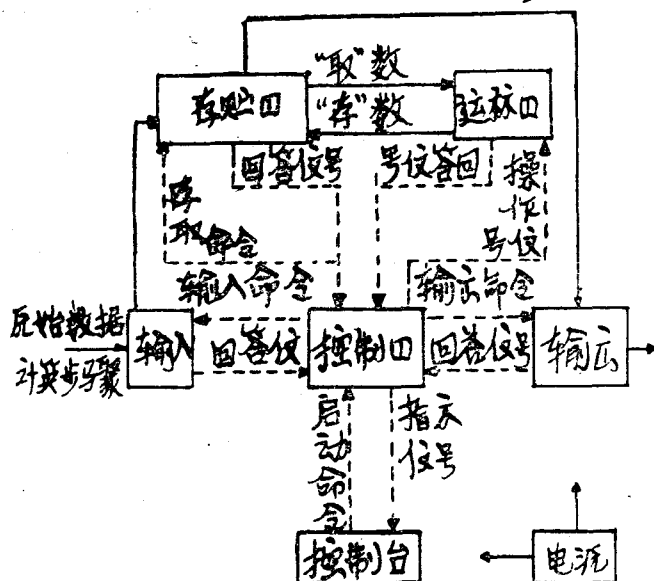
从上述计算过程可以看出，要完成一道算题，必须具有：

1、进行运算的装置。如算盘，算盘珠表示数，在算盘上进行乘法、减法等运算。

2、存放题目，计算步骤，原始数据，中间结果的装置。如纸张，在整个计算过程中，把需要记录的数据都“记存”在纸上，需要时再从纸上“取出”到算盘上。

3、进行控制的装置。如上述的计算都是在人脑的操纵下进行的，由手去执行。计算步骤、乘法法则，……都是人脑“想好”的，算盘珠的拨动是用手去完成的。

电子计算机在求解数学问题时，同样也离不开这几部分。即进行运算的装置—运算器，存贮的装置—存储器和进行控制的装置—控制器等主要部分组成的。此外还有外部设备，即输入和输出部分。下面就是电子计算机的一个框图：



电子计算机简单框图

电子计算机的运算器是自动地进行加、减、乘、除等算术运算及其它逻辑运算。实际上，一些复杂的数字问题，可以通过数学方法转化为算术运算和逻辑运算来解决，而运算器是能够进行算术运算和逻辑运算的，因此它能够解决复杂的数字问题的计算。

存储器能记存计算步骤，原始数据，中间结果和最后结果的。存储器还分为内存和外存两种，内存是直接为控制器、运算器提供计算步骤、数据的存储器。相对外存来说，它的存贮

容量小，存取速度快。而外存容量大，存取速度慢，外存用来存放大量暂时不参与运算的数据和结果。内存的存贮单元用磁蕊组成，外存一般用磁鼓和磁带组成。

控制器是整个机器的中枢。它能按照人们事先规定好的计算步骤或根据中间结果，自动决定下一步骤怎样计算，用哪些数据，计算结果记存在哪里等等。

输入装置和输出装置是实现人与计算机之间进行联系的桥梁和通道。

输入装置好似计算机的听觉和视觉器官，把我们要算题目的计算步骤，原始数据等直接送到计算机的存贮器内。

输出装置则以我们能理解的形式，把计算机计算的结果等从计算机内取出。例如：打印在纸上。

电子计算机除上述基本组成外，还必须有电源装置、控制台等。

现在，仍然以 $7 - 2.75 \times 2 = ?$ 这道算题来说明上图所示的计算机的工作过程：

第一步：由输入装置将事先编好的计算步骤（或称计算程序），原始数据 7，2.75，2 输入到存贮器放起来。

第二步：由控制台启动计算机工作。在控制器控制下，计算机按“计算程序”自动操作：

- 1、从存储器取出乘数到运算器。

- 2、从存贮器取出被乘数 2.75 到运算器，进行 2.75×2 的乘法运算。在运算器中求得乘积 5.5。

3、将运算器中所得的中间结果5.5存入到存贮器。

4、从存贮器取出被减数送到运算器。

5、从存贮器取出减数5.5送到运算器中，进行 $7 - 5.5$ 的减法运算，在运算中求得减法结果1.5。

6、将运算器中所得的最后结果1.5存入存贮器。

第三步：由输出装置将最后结果1.5打印在纸上。

本题计算完毕，可以停机。

或许有人会提出这样一个问题：电子数字计算机是怎样来识别0、1、2，……，9这些数字的呢？又是如何进行“运算”的呢？要回答这些问题，首先需要了解电子数字计算机所特有的数的表示方法及其运算规则。这些将在下一章要介绍的。

第二章 计算机中数的表示

第一节 进位计数制

一、十进制数的表示

在生产劳动和日常生活中，我们最常用最熟悉的就是十进制数，它的数值部分是用十个不同的数字符号 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9 来表示的，我们把这些数字符号叫做数码。数码处于不同的位置（或数位）代表的意义是不同的。例如在 1969.12 这个数中，小数点左边的第一位 9 代表个位，表示它本身的数值；左边第二位，表示 6×10 ；左边第三位 9 是百位，表示 9×100 ；左边第四位是千位，表示 1×1000 ；而小数右边的第一位 1 表示 $\frac{1}{10}$ ；第二位 2 表示 $\frac{2}{100}$ ，因此这个数可以写成：

$$1969.12 = 1 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 6 \times 10^1 + 9 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 2 \times 10^{-2}$$

一般地，任意一个十进制数 S （为方便起见假设是正的）都可以表示为：

$$\begin{aligned} S &= K_n (10)^n + K_{n-1} (10)^{n-1} + \dots + K_1 (10)^1 + K_0 (10)^0 + K_{-1} (10)^{-1} + \dots + K_{-m} (10)^{-m} \\ &= \sum_{j=n}^{-m} K_j (10)^j \end{aligned} \quad (2.1)$$

其中 K_j 可以是 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 十个数码中的任意一个, 它由 S 决定; m, n 为正整数。括号内的 10 称为计数制的基数。

我们说的进位计数制简称进位制, 就是说它是按进位的方式计数的。所谓某进位制的基数, 就是在该进位制中可能用到的数码的个数。当基数为十, 每位计满十向高位进一, 即“逢十进一”, 这种进位制就是十进制。除了十进制, 在生产 and 生活中还会碰到非十进制的计数制。比如时间, 六十秒为一分, 六十分为一小时, 它是六十进制的; 再如通常说的“一打铅笔”, 就是十二支, 它是十二进制的。特别是基数为二的进位制, 即二进制, 它是电子计算机中广泛采用的进位制。

二、二进制数的表示

二进制数每个数位只可能取两个不同的数码“0”和“1”, 而且是“逢二进一”的。为了熟悉二进制的表示, 现就几个简单的数字列出十进制与二进制的对照表如表 2.1。

我们将用下列记号来表示十进制数与二进制数的对应:

$$(9)_{+} = (1001)_{=}$$

$$(0.125)_{+} = (0.001)_{=}$$

括号右下角的数字表示进制的基数。上面两式的意思就是: 十进制的 9 表示为二进制等于 1001; 十进制小数 0.125 表示为二进制等于 0.001。

对于二进制, 同样可以写成形如公式 (2.1) 的展开式, 比如 11011.101 可以写成:

$$11011.101 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3}$$

表2.1

十进制 二进制			十进制 二进制		
整	0	0	小	0.5	0.1 2^{-1}
	1	1		0.25	0.01 2^{-2}
	2	10		0.125	0.001 2^{-3}
	3	11		0.0625	0.0001 2^{-4}
	4	100			
	5	101			
	6	110			
	7	111			
	8	1000			
	9	1001			
数	16	10000	24		
	32	100000	25		
	128	10000000	27		

一般地，任意一个二进制数 S 都可以表示成：

$$S = K_n 2^n + K_{n-1} 2^{n-1} + \dots + K_0 2^0 + K_{-1} 2^{-1}$$

$$+ \dots + K_{-m} 2^{-m} = \sum_{i=n}^{-m} K_i 2^i \quad (2.2)$$

其中 K_i 只能取 0 或 1，它由 S 决定； m, n 为正整数。

我们看到，展开式 (2.1) 与 (2.2) 完全类似，如果在式 (2.2) 中用 (10) 代替 2，则两个式子形式上完全一样。

一般地说，如果用正整数 J 表示进位制基数，则一个 J 进制数 S 都可以表示为：

$$S = \sum_{i=n}^{-m} K_i J^i \quad (2-3)$$

其中 K_i 可以是 0, 1, 2, …… ($J-1$) 中的任一个数码； m, n 为正整数。

$J=10$ 就是十进制数的表示形式； $J=2$ ，就是二进制数的表示形式； $J=8$ ，就是 8 进制数的表示形式。

从以上分析，我们看出，进位制有两个主要共同规律：

1、每一个进位制数都有一个固定的基数 J ，它的每数位可能取 J 个不同的数码，而且是“逢 J 进 1”的即每一位计满了就向高位进一。

2、进位制数都能写成形如 (2.3) 的展开式，它的每一位数码 K_i 对应于一个固定的值 J^i ， J^i 称为 K_i 的“权”，相应地，式 (2.3) 也称为进位制数按权的展开式。

比如，二进制数 101.01，自左至右，每一位数字对应的权分别为 $2^2, 2^1, 2^0, 2^{-1}, 2^{-2}$ 。

还要指出一点，对 J 进制小数而言，若小数点向左移一

位，则等于原小数减少 J 倍，即乘 $\frac{1}{J}$ ；若小数点向右移一位，则等于原小数增大了 J 倍，即乘的 J 。对二进制，相应地为减少二倍，即乘了 2^{-1} ，或增加了二倍，即乘了 2 。

三、二进制的 特点

在计算机中究竟采用什么样的进位制，取决于该进位制在机器设计制造上是否容易实现，是否计算简便，是否节省器材。前面我们分析了不同的进位制的共同规律，但由于各进位制的基数不同，因而也就产生了各自的特殊性。现在就来看看二进制有什么特点，从而进一步了解为什么二进制在电子计算机中被广泛的使用。

首先，二进制只取两个数码 0 和 1 ，因此二进制的很大一个优点，就是它的每一数位都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示。一般说来，制造具有两个稳定状态的元件比制造多稳定状态的元件容易得多，我们可以找到很多这样的元件具有这样的特性。比如氛灯的亮和灭，继电器的闭合和断开，晶体管的截止和导通，只要规定其中的一种状态表示“ 1 ”，另一种状态表示“ 0 ”，就可以表示二进制了。

由于采用二进制，在电子计算中，数的存贮和传送，也就可以用简单而可靠的方式进行，如脉冲的有无，电位的高低。

其次，二进制的数运算简单。大家知道，当进行简单的算术运算时，必须记住两个整数的和及乘积的表。如果是十进制的数，则人们必须记住 $\frac{10(10+1)}{2}$ 个和与积，才能进行