

高等学校教学用书

电子计算机 及其在电力牵引中的应用

潘启敬 吕天祥 刘茂智 编

人民铁道出版社

高等学校教学用书

电子计算机 及其在电力牵引中的应用

潘启敬 吕天祥 刘茂智 编

人民铁道出版社

一九六二年·北京

本书經铁道部教材编审委员会推荐作为高等学校教学用书，适用于电力铁道供电及电力机车专业。

本书叙述电子模拟计算机及电子数字计算机的构造、原理和各种部件的作用，应用电子模拟计算机的解题方法，电子数字计算机的程序设计，以及电子模拟计算机和电子数字计算机在电力牵引中的应用。

高等学校教学用书

**电子计算机
及其在电力牵引中的应用**

潘启敬 吕天祥 刘茂智 编

人民铁道出版社出版

(北京市霞公府17号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第010号

新华书店北京发行所发行

人民铁道出版社印刷厂印

书号1855 开本 $787\times 1092\frac{1}{16}$ 印张 $8\frac{3}{8}$ 字数239千

1962年3月第1版

1962年3月第1版第1次印刷

印数0,001—1,400册 定价(10)1.15元

目 录

緒 論	1
§ 1. 电子计算机的发展概况	1
§ 2. 电子计算机的基本概念	2
§ 3. 电子计算机的应用	5
第一編 电子模拟计算机	8
第一章 綫性运算器	8
§ 1—1 概述	8
§ 1—2 比例装置	8
§ 1—3 加法器	10
§ 1—4 积分器	12
§ 1—5 复合綫性运算器	15
第二章 运算放大器	15
§ 2—1 概述	15
§ 2—2 具有参数补偿零点漂移的綫路	16
§ 2—3 自动平衡零点漂移的电路	19
§ 2—4 运算放大器采用負反饋的意义	23
第三章 函数轉換器	23
§ 3—1 概述	23
§ 3—2 通用二极管函数轉換器	24
§ 3—3 专用函数轉換器	28
§ 3—4 二极管函数轉換器的設計誤差	33
§ 3—5 其它函数轉換器	38
第四章 乘除裝置	40
§ 4—1 概述	40
§ 4—2 二极管乘法器 (代数式乘法器)	41
§ 4—3 脉冲—時間乘法器	43
第五章 电子模拟裝置的构成原理	46
§ 5—1 概述	46
§ 5—2 模拟方程的建立及計算电路的构成	47
§ 5—3 模拟计算机的操作和監視	50
§ 5—4 控制設備和指示設備	52
§ 5—5 記錄設備	55
第六章 电子模拟计算机在电牵引中的应用	57
§ 6—1 电子模拟牵引计算机	57

§ 6—2 电子模拟供电计算机	62
第二編 电子数字计算机	65
第七章 电子数字计算机中的算术运算	65
§ 7—1 数制	65
§ 7—2 数的表示形式	68
§ 7—3 二进位制的四則运算	73
第八章 基本数字电路	74
§ 8—1 概述	74
§ 8—2 脉冲的发生与变换电路	75
§ 8—3 触发器	79
§ 8—4 邏輯电路	83
§ 8—5 計数器	84
§ 8—6 寄存器	85
第九章 运算器	86
§ 9—1 概述	86
§ 9—2 組合加法器	87
§ 9—3 累加器	89
§ 9—4 乘法装置	91
§ 9—5 运算器举例	92
第十章 存儲器	94
§10—1 概述	94
§10—2 磁鼓存儲器	95
§10—3 磁心存儲器	96
§10—4 存儲器的发展方向	100
第十一章 程序設計	102
§11—1 概述	102
§11—2 利用数值分析公式解題的概念	103
§11—3 运算成分及指令系統	104
§11—4 程序設計的基本方法	110
第十二章 輸入輸出裝置及控制裝置	118
§12—1 輸入輸出裝置	118
§12—2 控制裝置的作用及部件	121
§12—3 控制系統举例 (M—3 型計算机的控制器)	122
第十三章 电子数字計算机在机車自动駕駛中的应用	124
§13—1 概述	124
§13—2 机車自动駕駛的基本原理	125
§13—3 机車自动駕駛結構方框图	129

緒 論

§1. 电子计算机的发展概况

任何科学技术的发展都是与生产的发展和人类生活的需要分不开的。在人类的生活实践中，经常会遇到一系列的问题需要通过数学计算来解决。因此，人类很早就进行着数学计算工具的研究。

一千多年前，我们的祖先就发明了算盘^①，这可以说是最早的计算机。1640年，法国的一位数学家巴斯噶发明了一架计算机。这架计算机的原理很简单，用重复的加法代替乘法，又用重复的减法来代替除法。1673~1694年，德国的数学家、哲学家兼机械学家莱布尼兹改进了巴斯噶的计算机，应用了计算轮。1874年俄国工程师奥得涅耳制成了新型的计算机，为近代台式计算机奠定了基础。1878~1882年，俄国数学家切比舍夫院士创造了更为完善的自动计算机，能进行加、减、乘、除运算。二十世纪台式计算机得到了更进一步地发展，成为人们常用的计算工具。

然而上述一切机械的计算机已经不能满足近代科学与生产发展的需要。例如，根据大地测量的数据来编制地图，需要解决含有八百个未知数的联立方程式，做二亿五千万次算术运算。这些工作需要几十个计算人员用普通的计算机要花费几个月的工夫才能完成。复杂的计算要求人们研究更为有效的计算工具。随着二十世纪30~40年代无线电电子学、自动控制等新技术的飞速发展，一种完全新型的、应用电子技术的计算机开始出现了。1946年在美国制成了第一台大型电子数字计算机，型号是 ENIAC，它用了 18000 个电子管。用现在的眼光看来，这台计算机是很浪费和很不完善的，但即使这样，计算速度比任何机械计算机都有惊人的提高。接着，在其它国家也制成了电子计算机。苏联在1955年制成了当时世界上第一流的快速电子计算机，型号是 БЭСМ，每秒能作8000次运算，用了约5000个电子管，占地面积约为100米²。以后苏联又制成了“Срена”、“М-2”、“М-3”、“уран”等型号的通用电子计算机及专用电子计算机。

我国的计算技术，在全国解放后，由于党的重视和关怀，发展速度是很快的。在1958年，已制成了“八一”型小型通用电子计算机和一部大型的通用电子计算机，以及制成了模拟电子计算机。

目前电子计算机朝着快速、经济、小型化及提高可靠性几方面在迅速的发展着，晶体管、磁心元件、印刷电路等已开始被广泛的采用。为了提高速度，进行着许多新型元件的研究，例如隧道二极管、磁薄膜、冷致管、变参数分谐波振荡器等，它们的开关时间都将以毫微秒计算。

快速的自动的电子计算机的出现开辟了计算科学的新纪元，人们把它与以前的产业革命相提并论，把它与原子能并列为二十世纪的两大发明。从古到今，历史上曾经有过无数次的重大发明，但是它们都有一个共同特点，这就是：它们都是用来减轻人的体力劳动的。巨大的掘土机只不过是手人的进一步发展，快速的火车只不过是腿的进一步延长。可是电子计算机的发明却给我们开辟了一个节省人的脑力劳动的新时代。

象前面所提过的编制地图的工作，如果应用电子计算机，则十几小时就可以算完。电子

^① 根据李肇所著“中国算史论丛”，1274年我国已有算盘歌诀的记载。

计算机不仅可以完成各种复杂的计算，减轻人的脑力劳动，而且可以帮助人类解决过去人力所不能胜任的许多任务。例如，人造卫星和宇宙航行的问题，要计算它们的运动情况，必须用快速电子计算机才能奏效。此外，电子计算机还能从事翻译工作、资料整理工作、作为自动系统的神经中枢实现工厂的全盘自动控制，代替火车司机完成机车的自动驾驶等等。

电子计算机虽然能够减轻人的脑力劳动，但是它却不能代替人类的大脑。在这一点上，唯心论者作了许多歪曲的宣传。他们认为电子计算机在将来可以完全代替人的思维，叫嚷什么要用“电子大脑”来代替人的大脑。某些资本主义国家的杂志上更在那里广泛地散布这种观点，好用来引起中下层知识分子的恐惧，达到压低他们的工资的目的。这种论断是完全错误的。人的大脑和任何机器都有着本质的差别，人的大脑乃是任何机器所不能完全代替的，这正如飞机、火车的发明并不能完全代替人的手和脚一样。但是反过来，如果完全否认电子计算机能够辅助人的思维活动，否认电子计算机的研究对人的心理的研究有任何意义，并把这种观点斥之为一种大脑的“机械论”，这也是不对的。澄清这些错误的观点是很必要的，它将大大帮助这门科学的发展。

§2. 电子计算机的基本概念

电子计算机可按不同的特征来分类：

按表示数值的方法可分为：

- (1) 断续式电子计算机，或电子数字式计算机；
- (2) 连续式电子计算机。

按操作原理可分为：

- (1) 用程序控制的能实现任何解题计算的通用电子计算机；
- (2) 按固定程序操作的实现一种或几种一定解题计算的专用计算机；
- (3) 模拟用数学方程式所描述的物理过程的数学模拟机。

按功用可分为：

- (1) 用来解人工输入问题的计算机；
- (2) 用来处理信息的控制计算机。

上述分类可有12种不同的组合，目前取得了最大发展和普遍使用的是以下两种：

- (1) 用程序控制的通用电子数字计算机；
- (2) 采用数学模拟方法的电子模拟计算机。

下面我们对这两种计算机进行一些概括的介绍。

一、电子数字计算机的基本概念

计算机是怎样工作的呢？在回答这问题之前，先假设有一个用算盘来算一些问题。这些问题有大量的四则运算，计算者需先将问题的数据和要进行的运算步骤写在纸上，然后按照次序用算盘来逐一计算，必要时将计算的部份结果或全部结果写在纸上。在计算过程里，使用了些什么东西呢？——纸、笔、算盘、计算者自己的眼睛、手和脑，若这几件东西所担任的工作用电子管线路和一些特殊的设备来代替，作成一台机器，那末只要将计算的数据和计算的程序送入机器，机器便能自动地给出最后的计算结果，这就是电子计算机。

由此可以看出，在电子计算机里需要一种这样的设备，它可以将数据保存起来，它相当于上面例子中的纸，这设备叫做存储器。在电子计算机里也需要另一种设备来作计算工作，相当于上例中的算盘，这设备叫做运算器。另外相当上面的人的设备叫做控制器，它可以在适当的时候，将数据从存储器送到运算

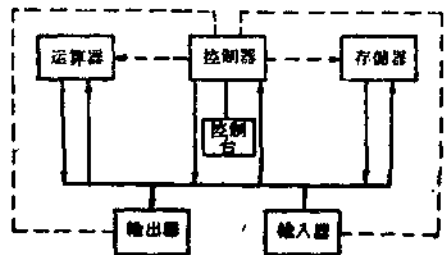


图 1

器去計算，控制运算器的工作，必要时將計算的結果从运算器送到存儲器。最后在电子計算机里还需要一种設備，在人和計算机之間工作，称为控制台。將数据送入計算机的設備叫做輸入器，將計算机的最后結果送出計算机的設備叫做輸出器，輸入器和輸出器也受控制器的控制。

上面所提到的几部份是电子計算机的主要部份，它們之間的关系表示在图 1 上。

图中实綫为数据可以通行的路徑，虛綫表示控制器可以控制其它几部份。但控制器根据甚么来控制呢？也就是計算机如何能自动地作計算工作呢？控制器的工作是由一連串“指令”所支配的，“指令”是一些信号，它指示計算机作什么事情，一連串的“指令”叫做运算程序。每一个要計算的問題，有它自己的运算程序，运算程序應該在計算前准备好，計算时，操作者將它和数据一道由輸入器送到存儲器中暫時存儲起来，然后运算程序的指令向控制器送出，通过控制器順次执行起来，計算也就依次地进行下去，結算結果得到时，計算机停止工作，最后的計算結果从輸出器讀出。

以下简单地介紹一下电子計算机的主要部份的大概情况。

所有通用电子計算机都有几个必要組成部份，即存儲器、运算器、輸入器、輸出器、控制器及控制台，每一部份担負着一定的任务。

1. 存儲器。存儲器好象一个旅館，有成千上万个房間，每个房間都有一个門牌，每个房間容一个或几个旅客，这个“房間”称为单元，“門牌”称为单元地址，“旅客”就是数和指令。

存儲器的作用是存儲数据及指令，当表示数据及指令的信号来到时，存儲器可以接受它們，并將它們保存起来，需要时又將它們送出去。存儲器可以存儲的数据和指令的量相当的大，通常以数千到数万，甚至更多，如果計算的問題数据非常多，几万个存儲单元也不够用，有些机器增添“倉庫”把大量暂时不用的数据存在“倉庫”里，用的时候可以随时成批的提取，这“倉庫”称为外存儲器。

存儲器内存儲一个数或一个指令的地方称为存儲单元，不同的存儲单元用不同的編号来区别，如第一、第二存儲单元等等。存儲单元的号碼称为地址，当一个数或一个指令从存儲器內取出或送到存儲器內时，控制器先給一个指令，从命令发出的时刻起到数或指令取出或送入存儲器的时刻，需一段时间，这段时间叫存取时间，故存儲器的存儲量和存取时间是存儲器的两个参数。

存儲器的种类很多，如靜电存儲器、磁存儲器、磁心存儲器、延迟綫存儲器等等。

一般外存儲器是由磁鼓或磁带作成的。

2. 运算器。运算器的作用是作算术及邏輯运算，如加、减、乘、除、邏輯加法、邏輯乘法等。如果碰到复杂的运算如开方、求三角函数值，都可以化成一系列的基本运算来完成。电子計算机有十几种多至几十种基本运算，可以解算各种各样的計算問題。

例如：求 a 的平方根，可用公式：

$$x_{n+1} = x_n \left(\frac{3}{2} - \frac{x_n^2}{2a} \right),$$

式中 x_n 是 $\sqrt{a}$ 的近似值，用这公式所求出的 x_{n+1} 比 x_n 更接近于 $\sqrt{a}$ ，下次用 x_{n+1} 代替 x_n 可得出 $\sqrt{a}$ 的更好的近似值，如此作下去，可以求得 $\sqrt{a}$ 。由以上可看出，求一数的平方根可用加法和除法来作。

一般計算器的运算器多由电子管綫路作成。

3. 控制器。它是根据指令进行工作的，指令是一連串“信号”。为了实现解题，必須編制程序，程序就是一系列指令；每一个指令都能使机器完成一定的操作（包括运算），它起着指揮員的作用。

控制器一般由电子管或晶体管作成。

4. 控制台。控制台是操作的人与机器直接发生联系的地方，在控制台上可以启动机器、停机、人为的改变运算过程、修改存儲器的内容、撥上特殊的开关、可以打印数据。同

时在控制台上还有许多信号灯，不断的指示出运算情况，机器不正常时也可以发出音响。

5. 輸入輸出器。輸入器把原始数据及指令輸入到机器的内部，数据和指令都是用电碼表示。电碼或是用穿孔紙帶，或是用穿孔卡片送入到机器中。

輸出器是把运算的結果印刷出来，有的机器用打印、照象、穿孔卡片、穿孔紙帶，或磁帶及打印机等做为輸出形式。

总的說来，机器是按以下的步骤进行工作：

(1) 在計算之前，就把大量的数据及計算程序通过輸入器，送到存儲器，以待使用。

(2) 把指令从存儲器送入控制器，然后控制器分析指令的内容，发出从哪些单元去取数和进行哪种基本运算的信号。

(3) 运算器接收信号后进行运算。

(4) 控制器把結果送到存儲器的单元中去，以便以后进行計算时应用，或者通过輸出器輸出打印。

二、电子模拟计算机的基本概念

模拟计算机是将要計算的数目用物理量的大小来代替，然后对物理量进行运算，运算后仍为物理量，再轉变为数目。例如：最简单的模拟计算机——計算尺是将数目变成长度，根据长度进行計算，計算的結果也是长度。在电的模拟计算机里，是把数目用电流或电压的量的大小来代表；在机械的模拟计算机里，数目用长度或角度等的大小来代表。

模拟方法主要有两类：

(1) 物理模拟；

(2) 数学模拟。

物理模拟是在模型上研究与实物的物理性质相同的现象，例如将大型电机按比例縮小，通过縮小了的电机模型来进行研究；又如在实验室作出供电系统的实际模型，通过此模型进行供电系统各种特性的研究和計算。

数学模拟方法是以各种物理现象的相似法则为基础的。列宁在“唯物主义与經驗批判主义”中指出：“在自然界的各个领域很多物理过程都可用同样的微分方程来描述，这个事实可以很清楚地显示出自然法则的惊人统一性”。

在研究某一物理现象过程的基础上，采用相似的规律时，就可以判断另一物理现象中的类似过程的特点。

在数学模拟計算中，能利用一个装置完成不同类型問題的求解，能保証很快的和很容易的由一个问题轉到另一个问题。因此数学模拟获得了迅速的发展，而且主要是采用电子模拟，因为它的运算方便、动作快、准确度高。

电子模拟计算机的主要元件是用于加法器及积分器的放大器，以及模拟非綫性函数的函数轉換器。在进行解題計算时，使运算元件按照题目的方程式联接起来，放入初始条件，开动机器，即可用电压表或示波器等測量仪器在计算机的輸出端測得所求的解答。

例如，列車运行方程式为：

$$\frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \xi(f - w_i) = \xi f_0,$$

式中 v ——运行速度；

f ——牵引力；

w_i ——运行阻力；

ξ ——換算系数，决定于 v 、 f 、 w_i 所采用的单位；

s ——运行距离。

为了解上述方程式以求得 v 及 s ，计算机的联接如图 2 所示。

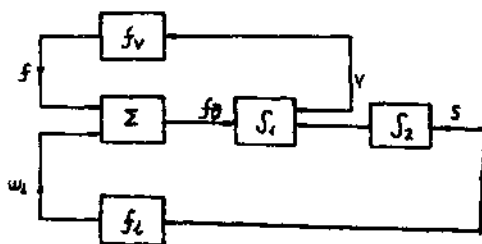


图 2

图2中各方框所代表的意义如下:

Σ ——加法器, 它将 f 与 w 求代数和得到 f_0 ;

$\int_1$ ——积分器, 它将 f_0 积分得到 v ;

$\int_2$ ——积分器, 它将 v 积分得到 s ;

f_s ——运行阻力函数转换器, 它根据不同的 s 输出不同的运行阻力, 因为运行阻力是运行距离 s 的函数;

f_v ——牵引力函数转换器, 它根据不同的 v 输出不同的牵引力, 因为牵引力是运行速度的函数。

如果各个运算器及函数转换器均已调好, 并按上图联接好, 则启动计算机, 便可以在 $\int_1$ 及 $\int_2$ 的输出端测出运行速度及运行距离随时间变化的曲线。

电子模拟计算机的精确度通常不如电子数字计算机高, 实际应用的电子模拟计算机, 一般精确度在0.5~5%的范围内, 而它的制造成本比同样精确度的数字计算机低廉得多。不过, 模拟电子计算机的精确度一超过0.1%以后, 制造成本反而超过了同样精确度的数字计算机。而且, 精确度要求过高时用模拟计算机来完成是相当困难的。所以要求计算结果极其精确时, 还是采用数字计算机比较合算。

在通用性方面模拟机也不如数字机。但是模拟机除简单而外, 还有一个特点, 这就是输入数据于计算机之后, 到计算结果输出之前, 没有所谓“时间延迟”, 这对追踪控制系统来说是非常重要的。因此, 数字计算机与模拟计算机各有适合的用途, 它们是互相补充, 互相促进的, 而不是互相排斥的。

目前在有些电子计算机中同时采用了数字及模拟两种原理。在数字机用作控制系统的神經中樞时, 不可避免地还会碰到断续量与連續量之間的轉換問題, 以及数字装置与模拟装置的配合工作等問題。

此外, 还有一种计算机, 叫做数字积分计算机, 它可以說是模拟原理与数字技术的結合。就机器的操作方式来说, 它不是采用程序控制, 而是采用数字模拟; 但是就数值的表示方法来说, 却是采用断续方式, 即数字方式。

因此, 将数字计算机与模拟计算机看成是两个彼此无关的学科是不对的。

§3. 电子计算机的应用

电子计算机具有快速运算及邏輯判断的能力, 能迅速而且准确地解决科学研究、国民經济和国防上非常复杂而繁瑣的問題, 也同样能在这几方面直接地参加操作而起着自动控制和自动調节的功能。应用电子计算机能大大減輕人的体力劳动和脑力劳动, 同时也就大大提高了劳动生产率, 加速社会主义建設和共产主义建設的速度。

电子计算机的用途是多方面的。首先是关于快速計算方面。我們知道, 在近代的物理学、数学、力学、天文学、化学、天气預报、統計学, 乃至现代化的工程設計中, 常常需要进行大量的数字計算(即加減乘除), 例如, 求一个大的行列式的解答、求一个級数的和等等, 在計算中常要花費很多的时间, 常常为某一数字問題要算上一两年。可是有了电子计算机以后, 就能大大节省人們在数字計算方面的劳动。就計算速度来说, 电子计算机在这方面是异常迅速的。如果我們不把調整电子计算机的时间算在內, 仅在运算的时间上来比較, 那末电子计算机就要比人工运算快四十万倍以上, 比起一个普通結賬或做統計用的计算机要快几万倍以上。例如, 用电子计算机来算十位数字的加減法, 每秒鐘可做三万次; 来做十位数字的乘除法, 每秒鐘可做五百次。而且, 在設計电子计算机的时候, 还可以把許多运算步骤連接起来, 让它們自动地和連續地来进行。我們只要把計算程序調节好, 把方程式的已知条件代进去, 电子计算机便能按照严格的順序确切地完成大量的运算动作, 把运算的结果从机器的一部分傳到另一部分, 于是在很短时间就能得到最后的结果, 并且把它化成便于利用的形式。这种計算结果常常能得到极高的精确度, 它們的精确度常常是数百万分之一或是数千分之一。

可以想見，具有这样大的数字計算的本領的电子計算机，將要在近代的科学上、工程上、国防上获得何等重大的应用价值。举例來說，我們在工程設計上，有时会須要解上一个含有很多未知数的联立方程式，假如这个方程式有三十个未知数，用电子計算机来計算，在一小时以內，便可算完。要是由現有的通常的方法来算，不但容易发生錯誤，而且需要的时间很多。这就是說，利用电子計算机，可以帮助我們的工程建設提前完成。

电子計算机能够大大地推动各种精密科学的理論的研究。例如，在近代科学中常常須要求出一系列极其复杂的方程式的解答（綫性的和非綫性的微分方程和积分方程等），可是这种方程式常常是标准方法所不能得出答案的，于是科学家們就只好訴之于数字計算。有些方程式用数字計算还可能在較短的时间內求了出来，有些就根本不可能，因为进行这种計算可能要花上十几年或是几十年的时间。可是有了电子計算机，这个情况就不同了，对于这些方程式，它一般地都能在較短的时间內就可以得出解答。例如一个有訓練的数学工作者在一百年中才能算出結果的，用电子計算机計算，只要两小时就行了。可想而知，这样一来，对于这些精密科学的发展將要起着何等重大的作用。因为在这些科学部門，历史上找不出解答，或虽有解答，但解答得极不精确的問題实在太多了，而有了电子計算机，解决这些繁雜的問題就大有希望了。

电子計算机还能大大推动数学的研究。首先当然是同它直接有关的数字計算这一部門。自从有了电子計算机，这个科学部門的发展方向、研究方法同以前比較起来，都有了很大的改变。同时，电子計算机还可以提出促进和帮助一系列的理論数学問題的研究。这里面所涉及的領域是极广的，包括着几乎是全部的分析的部門以及数論、符号邏輯、汎函分析等部門。

然而电子計算机的用途还不止此。它的原理还可以广泛地利用来解决工业生产、交通运输、軍事等方面的問題。因为电子計算机的工作原理，和人們的神經控制的过程有若干类似的地方，所以，这种机器可以代替鉄路和航空运输中的調度員，能够用来管理自动化工厂和自动車床，能够操縱炮火的发射，管制无人飞机或領航等。同时，利用电子計算机的原理还有希望来研究这样一个复杂而重要的問題：人的大脑如何工作的原理。現在这門科学也正在开始发展着。总之，这种机器可以被利用来作为思維的輔助的工具，帮助人們解决各种各样的問題。

电子計算机还能用来进行翻譯。苏联利用БЭСМ的电子計算机已經能够确切地把英文句子譯成俄文，或把俄文句子譯成英文。这种机器暂时还只能进行一般的科学文献和日常事务的翻譯，不能进行文艺方面的翻譯。但只此一端，就足以大大帮助了翻譯工作。

此外，电子計算机还能用来整理科学資料或进行經濟資料的統計。科学的日益发展就愈来愈有必要及时登录本門的和相邻的科学部門中所获得的資料，这就須要广泛利用高速科学資料整理机来把不断增长的世界全部科学文献的内容加以分类和統計。据某些人的統計，对于化学上的鋅这一元素的研究，从一七二六年到一九二六年，共有七千二百八十一種著作，但是从一九二六年到一九四六年就有一万九千四百三十一種著作。很难設想，一个科学家在研究时能够找出并閱讀如此大量的科学資料。可是利用了这种科学資料整理机和統計机，就可以把它們以前所記錄的东西以高速复制了出来。

电子計算机在鉄路运输上有广阔的应用前途，就目前看来，在以下几方面已經取得了显著的成果：

（1）列車編組，最优惠运输方案的选择、配車計算、运行图的編制等等，在苏联及英美等国已取得結果；

（2）进行牵引計算、車輛震动計算、結構应力的分析和計算、桥梁設計、选綫設計、电力鉄道供电系統的計算等等。在这方面可采用数字机，也可采用模拟机。苏联的模拟牵引計算机ATP-1及ATP-2在苏联已經开始广泛应用。日、英、美、法等国也都制成了牵引計算裝置；

（3）用于运输过程的自动控制。苏联在1958年試制成功了应用电子計算机的摩托車組

自动駕駛。日、英、美也先后試制成功不同方式的機車自动駕駛。电子計算机还被用于駝峰自动控制，以及自动售票等等。应用电子計算机将能实现列車运行的全盘自动化。

以上所介紹的还只不过是电子計算机目前应用的某些方面，电子計算的应用范围和发展前途是不可限量的。为了加速社会主义建設及共产主义建設，乃至实现人类征服宇宙的計劃，我們必須特別注意这一科学技术的发展。党对这门科学技术十分重视，我們的社会制度为新技术的发展开辟了无限广阔的前途。只要我們不懈地努力，計算技术在我国一定会迅速地向发展。

第一編 电子模拟计算机

第一章 綫性运算器

§1—1 概 述

用来解算綫性微分方程的解算装置称綫性运算器。

設图 1—1 中所画的方块代表一个运算器。以 x 作为运算器的輸入量，而用 y 代表輸出量。則运算器中輸入量和輸出量之間的关系可用下式表示之：

$$y = F(x)。$$

在綫性运算器中輸入量 x 和輸出量 y 的关系式中，輸入量 x 的方指数不得大于 1，亦沒有 y 和 x 的乘积項出現，但方程的微分阶次可为任意阶次。因而很明显，这一类运算器是用来完成下列基本运算的：加（减）法、积分、微分，以及乘以常数項等。

綫性运算器可由各种不同物理属性的型式构成；如机械的、电气的、机电型的或电子的等等。

按照运算器本身結構的型式，运算器可分为：

- (1) 开环型綫性运算器；
- (2) 用正反饋来补偿的綫性运算器；
- (3) 用負反饋的閉环型綫性运算器。



图1—1

下面我們將就电的和电子型的綫路来分別說明。所謂开环型綫性运算器是用无源四端网路构成的运算器。加入放大器后組成有源四端网路，如采用正反饋，則可构成补偿式綫性运算器，但正反饋綫路不稳定，所以这种綫路一般运用較少。如采用負反饋，則可构成閉路式綫性运算器。

§1—2 比 例 装 置

运算中經常要求获得变数的常数倍。如 $x_0 = ax_1$ ， $y = b \frac{dx}{dt}$ ……………。則此时需应用比例装置。

一、无 源 网 絡

最简单的装置是电位器(图 1—2)。 x_1 为輸入电压， x_0 为輸出电压。

$$x_0 = ax_1。 (0 \leq a \leq 1 \text{ 时成立})$$

常用的是旋鈕式电位器，最好是綫性的炭膜电位器或金属陶瓷的，且具有刻度，否則校正很麻煩。一般采用 10,000~100,000 欧、功率为 1 瓦的电

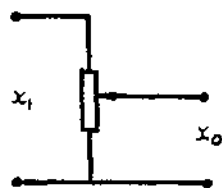


图1—2

位器。其阻值的下限受功率限制，上限受誤差限制。

图 1—3(a) 中 a 为整定比例值， R_n 为負載电阻。

由图 1—3(b) 可写出 A 点的结点方程：

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0, \quad (1-1)$$

$$I_1 = (x_0 - x_1)/(1-a)r, \quad (1-2)$$

$$I_2 = x_0/ar, \quad (1-3)$$

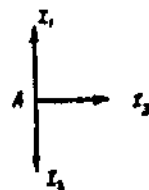
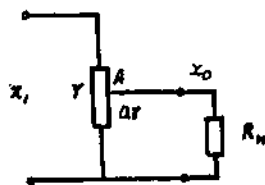


图 1—3

$$I_3 = x_0 / R_n, \quad (1-4)$$

将式 (1-2)、(1-3)、(1-4) 代入 (1-1) 得,

$$(x_0 - x_1) - \frac{1}{(1-a)r} + \frac{x_0}{ar} + \frac{x_0}{R_n} = 0,$$

同类项归并后, 并在等式两边加 a , 然后化简, 则得

$$a - \frac{x_0}{x_1} = \frac{a^2(1-a)r/R_n}{1+a(1-a)r/R_n},$$

当 $r/R_n \ll 1$ 时

$$a - \frac{x_0}{x_1} = a^2(1-a)r/R_n, \quad (1-5)$$

式中 $\frac{x_0}{x_1}$ —— 实际比例值。

从 (1-5) 式可知比例值的误差与 a 有关, 与 r/R_n 有关。当 r 电位器阻值增大时, 误差也增大, 因而规定了实用的上限。并且比例值受负载变化影响大。

当 $0 \leq a \leq 1$ 时可采用电位器式比例装置。若输出端接有负载时, 必须注意加大其整定比例值。

在 $r/R_n \leq 0.3$ 且准确度要求不高于 0.1% 则可用下法。

由式 (1-5) 可知, 实际比例 x_0/x_1 的值比 a 小。所以采用一次渐近法。将 $a' = a + a^2(1-a)r/R_n$ 作为止定值来代替 a 。(实际上严格的关系式是 $a' - a = a'^2(1-a')r/R_n$, 所以 $a' = a + a'^2(1-a')r/R_n$ 而不是 $a' = a + a^2(1-a)r/R_n$ 。)

当 $a > 1$ 的时候电位器装置不适用, 通常采用有源網路。

二、有源網路

采用具有负反馈式直流运算放大器后, a 值不受限制, 并且工作稳定。设直流运算放大器的增益为 A 。

图 1-4a 就是闭环型比例装置线路图。Σ 点的结点方程为:

$$I_1 + I_2 = 0, \quad (\text{略去栅流}) \quad a)$$

$$\left(-\frac{x_0}{A} - x_1\right) \frac{1}{R} + \left(-\frac{x_0}{A} - x_0\right) \frac{1}{R_0} = 0,$$

假定增益 $A \gg 1$ 时, 则 $-\frac{x_0}{A} \approx 0$, 则

$$x_0 = -\frac{A \frac{R_0}{R} x_1}{\frac{R_0}{R} + (1+A)} \approx -\frac{R_0}{R} x_1. \quad (1-6)$$

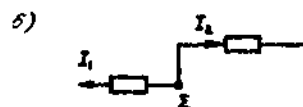
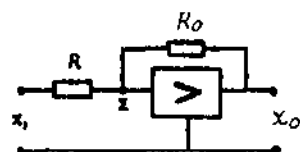


图 1-4

可见只要选定适当的 R_0 及 R 之值, 就可得到任意比例系数。在 $R_0 = R$ 的特殊情况下, 输出电压与输入电压相等而符号相反, 亦即乘 -1 的比例系数, 此装置称反号器。

现在我们来看对放大倍数的要求。

设 $a = R_0/R = 10$, 为了使误差不大于 0.1%, 那末增益 A 为多大。按近似公式

$$x_0 = -x_1 R_0/R = -10x_1,$$

按原式

$$x_0 = -\frac{10Ax_1}{10+(1+A)},$$

绝对误差

$$10 - \frac{10A}{10+(1+A)},$$

相对误差

$$1 - \frac{A}{10 + (1 + A)} \leq 0.1\%.$$

$$\therefore A \geq 10,000 \text{ 倍}.$$

同理可求得当 $a=100$ 时, 要求 $A \geq 100,000$ 倍。

由此可見在一定的增益 A 时, 误差与 a 的大小有关。一般讲增益 $A > 30,000$ 倍, a 在任意值时基本上能满足要求。若 a 值太大, 可采用逐级递増法满足之。

总起来说采用閉环型負反饋网络后, $a > 1$, 輸出反号, 且比例值与負荷无关。提高了工作的准确性与稳定性。

§1-3 加 法 器

加法器是完成 $x_0 = \sum_{i=1}^n ax_i$ 运算的装置。 x_i 为輸入电压, x_0 为輸出电压。

一、无源网络加法器

将若干电压相加的最簡捷的方法是将这些电压串联起来。然而, 有一个极大的缺点, 除去內中一个輸入电压电源的一端允許接地外, 其余各輸入电压不能接地, 因而这种串联电路不切实用。

图 1-5 为一无源网络加法器。

对 Σ 点写結点方程:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_0 &= 0, \\ (x_0 - x_1) \frac{1}{R_1} + (x_0 - x_2) \frac{1}{R_2} + x_0 \frac{1}{R_n} &= 0, \\ x_0 &= \frac{-\frac{x_1}{R_1} - \frac{x_2}{R_2}}{-\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n}}. \end{aligned}$$

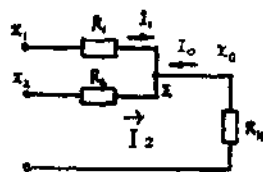


图 1-5

从公式得出, 相加的结果取决于負載的大小和被加数目的多少。在 R_n 为有限值的情况下, 仅仅在被加数数目和負載保持不变时, 才能保証相加。此外綫路的衰减現象严重, 故一般不采用。

例 $R_n = \infty$, $R_1 = R_2 = 10^6 \Omega$, 則 $x_0 = \frac{1}{2}(x_1 + x_2)$ 。

若 $R_n = R_1 = R_2$ 时, 則 $x_0 = -\frac{1}{3}(x_1 + x_2)$ 。

二、並联負反饋閉环型加法器

图 1-6 为一負反饋放大器式加法器。

对 Σ 点写結点方程得:

$$\begin{aligned} I_1 + I_2 + I_0 &= 0. \quad (\text{略栅流}) \\ \left(-\frac{x_0}{A} - x_1\right) \frac{1}{R_1} + \left(-\frac{x_0}{A} - x_2\right) \frac{1}{R_2} + \left(-\frac{x_0}{A} - x_0\right) \frac{1}{R_0} &= 0, \\ x_0 &= \frac{-A\left(\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_2}\right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0}(1+A)} \approx -R_0 \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{R_i} \quad (1-7) \end{aligned}$$

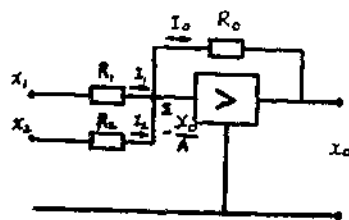


图 1-6

由公式(1-7)可知 x_0 不随負載变化,且在原理上无衰减。若将公式变化則可得

$$x_0 = - \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i, \quad \alpha_i = \frac{R_0}{R_i}。故具有比例作用。$$

減法器实际上是輸入項为負值相加。

总起来說在模拟机中采用負反饋放大器式加法器不但网路簡單,可兼作比例元件,并可任意进行变数加減。因此应用很广。

三、加減器的誤差

(一) 运算器誤差的几个基本概念和运算器准确度的判据。运算器誤差为給定瞬时下輸出量的理論值与实际值之差。产生誤差的原因是多种多样的,因而有各种各样的誤差和誤差的分类总起来說分两大类(詳細分析与分类請参看参考书[1]):

1. 系統誤差,按一定規律变化的誤差;
2. 随机誤差,无一定規律和范围变化,而随其他因素而变化之誤差。

現在我們主要談系統誤差。

絕對誤差亦称誤差,表示式:

$$\Delta x_0 = x_{0(\text{理})} - x_{0(\text{实})}。$$

相对誤差亦称百分誤差。表示式如下:

$$\delta x_0 = \frac{\Delta x_0}{x_{0(\text{理})}} = \frac{x_{0(\text{理})} - x_{0(\text{实})}}{x_{0(\text{理})}}。$$

在測量技术中通常用絕對誤差与仪表的滿标度之比,即相对誤差,做为准确度的判据。在我們的运算器中就是絕對誤差与輸出量的最大值之比。

$$\delta x_0 = \frac{\Delta x_0}{x_{0,\text{max}}}。$$

(二) 加法器的誤差

理想值:

$$x_{0(\text{理})} = -R_0 \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{R_i}。$$

实际值:

$$x_{0(\text{实})} = - \frac{A \left(\frac{x_1}{R_1} + \frac{x_2}{R_2} \right)}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_0} (1+A)} = - \frac{R_0 \sum \frac{x_i}{R_i}}{1 + \frac{1}{A} \left(1 + R_0 \sum \frac{1}{R_i} \right)}。$$

据 $(1+x)^{-1}$ 的級数展开式可得:

$$1 + \frac{1}{A} \left(1 + R_0 \sum \frac{1}{R_i} \right) = 1 - \frac{1}{A} \left(1 + R_0 \sum \frac{1}{R_i} \right) + \left[\frac{1}{A} \left(1 + R_0 \sum \frac{1}{R_i} \right) \right]^2 \dots\dots\dots。$$

在实用中其二次項以后均可略去,所以

$$\begin{aligned} x_{0(\text{实})} &= -R_0 \sum \frac{x_i}{R_i} \left[1 - \frac{1}{A} \left(1 + R_0 \sum \frac{1}{R_i} \right) \right] \\ &= x_{0(\text{理})} \left[1 - \frac{1}{A} \left(1 + R_0 \sum \frac{1}{R_i} \right) \right]。 \end{aligned}$$

相对誤差

$$\delta x_0 = \frac{x_{0(\text{理})} - x_{0(\text{实})}}{x_{0(\text{理})}} = - \frac{1}{A} \left(1 + R_0 \sum \frac{1}{R_i} \right)。$$

由上式可知,实际值比理想值小,且增益 A 愈大,誤差愈小,愈准确。且显示出誤差值与計算綫路的参数有关。

§1-4 积分器

积分器是模拟装置上的一个重要部份，是完成线性方程式运算的主要运算器之一。目前在模拟计算机中最广泛采用的是电子式积分器，它具有制造简单、体积小、造价低并具有很大的灵活性和足够的准确度等优点。在下面就介绍电子式积分器。

常用积分器是指它的输出电压 x_0 正比于输入电压 x_i 对时间独立变量的积分。其表示式为：

$$x_0 = a \int_0^t x_i dt.$$

若独立变量是另外一个，则可应用变量换置使进入运算器运算的独立变量是时间。

例如运动方程中

$$x_0 = \int_a^x y dx,$$

变量换置时，令

$$x_0 = \int_0^t y \frac{dx}{dt} dt,$$

已知

$$\frac{dx}{dt} = v,$$

则

$$x_0 = \int_0^t y v dt.$$

在独立变量无法换置时，只能设计特殊的积分器，一般是用机械的或机电装置完成。

一、电子积分的物理过程

众所周知，电器元件中电容和电感都是惯性元件，具有一定的积分特性。例如电容器 C 的充电电流 i 与输出电压的关系是 $i = C \frac{du_c}{dt}$ 。 $\frac{1}{p}$ 是积分因子。

借助图 1-7a，输入输出均用定流源表示则转换成 1-7b 线路来说明电子式积分器的物理过程。

设输入 x_i 为阶跃函数。假定电容器 C 的初始电荷为 0，即 $t=0$ ， $v_c=0$ 。

这时在输入端加上阶跃函数 x_i a)

(图 1-8) 时，

$$I(0) = x_i / R,$$

$$x_0 = x_i - IR,$$

所以

$$x_0(0) = 0,$$

$$x_0(0) = -Ax_0(0) = 0.$$

当电容器被充电后，电流减小，在 Σ 点出现电压 x_0 。从电路中可知电流的减小的速度取决于回路的时间常数 RC 。可以假定 RC 非常大，因此可认为电流没有变化。

$$I = C du_c / dt = C \times \text{常数}$$

则

$$u_c = \frac{1}{C} \int_0^t I dt = \frac{1}{C} \int_0^t x_i dt$$

由此可见 u_c 为 x_i 的积分，而 u_c 为 x_0 与 x_0 之差，但 $x_0 \approx 0$ ($\because \frac{x_0}{A} \approx 0$)。所以得到：

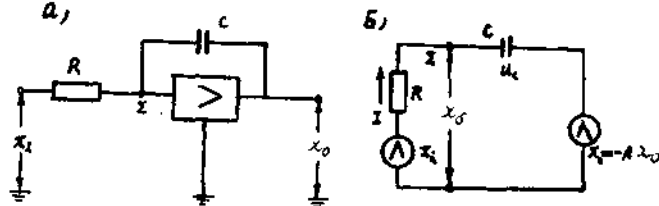


图 1-7

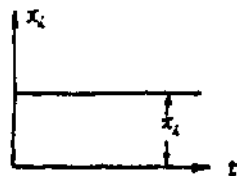


图 1-8