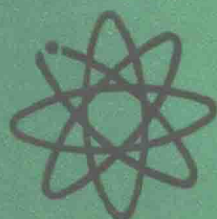


[苏] A. M. 格里什凯维奇 主编
桑杰 译 管迪华、肖德炳 校



电子计算机 在汽车设计与计算中的应用

12

人民交通出版社

电 子 计 算 机 在汽车设计与计算中的应用

[苏] A. И. 格里什凯维奇 主编
桑杰 译 管迪华、肖德炳 校

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书综述了在汽车设计中所采用的电子计算机方法，其中包括汽车动力性、操纵性、稳定性、平顺性以及传动系载荷的计算等。

本书可供高等院校汽车拖拉机专业的师生及汽车设计的工程技术人员参考。

本书译自苏联明斯克“高等教育”出版社1978年出版的《ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ И РАСЧЕТЕ АВТОМОБИЛЯ》一书。

电 子 计 算 机 在汽车设计与计算中的应用

[苏]А.И.格里什凯维奇 主编

桑杰 译 管迪华、肖德炳 校

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京朝阳区展望印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：8.25 字数：180 千

1983年3月 第1版

1983年3月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,900 册 定价：1.30元

引 言

近年来电子计算机得到了相当大的普及。一些工厂、科研部门和实验室在汽车工程的设计与试验中广泛应用电子计算机，这些部门在应用计算机方面积累了许多经验。但是到目前为止，在高等学校汽车拖拉机专业学生用的汽车理论、设计、计算与试验方面的教科书和教学参考书中，实际上没有介绍电子计算机的应用问题。

电子计算机在汽车制造业中的应用正沿着两个主要方向发展：一是汽车的设计与计算；二是机器（自动化）设计。

本教学参考书所介绍的是涉及第一方面内容的问题。作者试图用综合的方式来阐明电子计算机在汽车设计与计算中的应用。因为这是个范围广而复杂的课题，当然只能选用最有典型意义的例子。因此，作者力图从处理问题的方法上着眼，来介绍各种不同的例子，便于读者以后根据这些例子可以独立地分析汽车的其它系统。

分两类问题来选择例子。第一类是“汽车理论”教程中研究的典型问题，包括选择汽车最优参数所必需的动态模拟，以及稳定性、操纵性的若干问题和行驶平顺性的计算方法等。第二类问题涉及的是汽车总成的设计，主要包括汽车传动系方面的一些基本例子。

按照工作原理划分，电子计算机可分为模拟计算机和数字计算机两种类型。要根据计算机的工作特点和所要处理的具体问题来选择电子计算机的类型。许多问题可以轻易迅速地用数字计算机精确求解。属于这类问题的有：计算齿轮的

几何形状、强度和寿命；确定轴和轴承的工作能力；实验数据结果的统计处理等等。为了解这类问题，各种数字计算机都有一套校验好的使用起来也并不困难的程序。还有许多问题适合于用模拟计算机求解。属于这类问题的首先是进行各种动态计算：确定汽车的动态特性、传动系载荷、行驶平顺性指标等等。

模拟计算机在现代研究和设计工作中的应用已超出单纯计算的范围。模拟计算机可以帮助工程技术人员了解所研究的对象的数学描述与该对象中发生的过程之物理本质之间的相互联系。除此之外，还经常在模拟计算机上研究这样一些对象，即在解题过程中经过计算结果和试验数据的（反复）对比，可以使这些对象的数学描述更加精确。模拟计算机的优点是解题直观，这是因为模拟计算机的各个部分和被解题目的变量之间存在逻辑上的联系，而且很容易确定机器上排题的框图。当数学描述确定之后，往往是在数字计算机上求解，以便获得高精度的解。在许多情况下，系统的动态计算应该首先在模拟计算机上进行，然后在数字计算机上精确化。从这种考虑出发，本书着重于模拟计算机的应用。

应该指出，按照问题的性质，有两种解题途径，即确定性的和概率性的两种。作者注意到这种情况，书中引用的解题例子既有确定性的问题，又有概率性的问题。

本书的基础是白俄罗斯工业大学汽车教研室和汽车研究实验室多年来应用电子计算机进行汽车研究的成果。除此之外，还分析和总结了国内外在汽车计算中应用电子计算机的经验。

本书供汽车拖拉机专业的大学生阅读，也可供汽车拖拉机工业部门的科技工作者参考，还可作为工程师进修提高的参考书。

目 录

引 言	1
第一章 电子计算机工作原理及其主要部件	1
1.1 模拟电子计算机与数字电子计算机	1
1.2 模拟电子计算机的组成部分和解题部件	6
1.3 非线性部件	13
1.4 用模拟计算机求最简单的函数关系	22
1.5 运算放大器比例尺和传递系数的选择 模拟计算机解题方法	23
1.6 数字计算机程序设计的一般知识	31
1.7 现代电子计算机的有关资料	35
第二章 汽车行驶工况的计算	38
2.1 汽车的运动方程 模拟方法	38
2.2 道路特性的模拟	52
2.3 行驶速度的限制	63
第三章 汽车的操纵性和稳定性 若干特性的计算方法	80
3.1 关于汽车的操纵性和稳定性的一般知识 汽车的车轮偏离现象	80
3.2 车轮偏离的模拟	85
3.3 汽车的操纵性	88
3.4 转向轮的自振	99
3.5 汽车的方向稳定性	108
第四章 汽车的行驶平顺性的计算方法	119

4.1	计算简图	119
4.2	振动计算方法与汽车行驶 平顺性的评价方法	129
第五章	汽车机械总成动态计算系统的建立	149
5.1	系统参数的确定	149
5.2	导出动态系统的组成	161
5.3	导出动态系统的简化	166
第六章	汽车发动机和传动系部件的模拟	177
6.1	有全程调速器的发动机	177
6.2	离合器及其传动机构	182
6.3	多片式摩擦离合器	189
6.4	同步器	197
6.5	差速器	202
6.6	液力变矩器	203
6.7	自动变速系统	206
第七章	汽车传动系载荷的计算	213
7.1	汽车传动系的模拟	213
7.2	传动系的频率分析	220
7.3	离合器减震器参数的选择	232
7.4	汽车起步时的载荷计算	238
7.5	液力机械传动系换档工况的计算	243
7.6	差速器类型对传动系载荷的影响	250
	参考文献	255

第一章 电子计算机工作原理 及其主要部件

1.1 模拟电子计算机与数字电子计算机

模拟方法及其种类。现代电子计算机由模拟计算机、数字计算机和模拟-数字混合式计算机组成。模拟电子计算机的利用是基于数学模拟方法，这种方法是科学技术中采用的模拟方法中的一种。采用模拟方法时，研究的对象不是原来的物体，而是该物体的某种模型。

实际情况是，利用模型进行研究，往往比研究真实物体来得简便而经济。

模拟方法分为物理模拟、数学模拟和半实物模拟。物理模拟时，所研究的模型具有与原来物体相同的物理特性。在这种情况下，模型应当满足相似准则，也就是说，模型的几何尺寸应当和实物成比例，模型中产生的变化过程应当对应于实物中发生的物理过程。这种模拟方法广泛应用在电机制造、建筑工程、水利和桥梁设计，以及活塞式内燃机、泵类和空气压缩机等工作过程的研究方面。

飞机和汽车模型的风洞试验乃是物理模拟的典型例子。

用物理模拟方法，不用进行简化就可在模型上再现所研究的现象，从而可以相当精确地求得关于实物特性的有价值的资料；用物理模拟方法还可以研究无法给出严格数学描述的那些现象；用物理模拟方法，不会使研究人员脱离他所习

惯的技术领域。但是物理模型有时制作起来昂贵、笨重而且难度大，又不通用。建立模型时不是在所有情况下都能遵守相似准则，这样就产生了模拟误差。

数学模拟方法立足于描述模型的方程和描述实物的方程之间的恒等性，即物理特性不同的现象可以用相同的数学描述，亦即相似性。

过程的数学模型。应该把它理解成描述被研究过程的各个独立现象的数学关系式的总和，以及有扰动因素的情况下这些现象之间的相互作用。

因此，过程的研究就归结到分析这个过程的数学描述。

但是任何数学描述都做出一定的假设，这可能对于研究模型和实物所得结果的恒等性有所影响。因此，数学模拟方法适合于用到能够足够精确地予以数学描述的那些现象的研究上。这是数学模拟方法的不足之处。

以应用电子计算机为基础的数学模拟方法是最通用而有效的方法。现代电子计算机的运算速度很高，因此在提出和解决问题时，可以不再需要如手算时所不得不作的大量简化和假设。采用模拟原理，借助电子计算机可以用数学模型来研究运输机械及其总成的动态特性。用这种方法不仅可以分析系统在正常工况下的特性，还可以分析各种偏离正常工况下（包括损坏）系统的特性。制造可靠性高的机器部件，也必须进行类似的研究。

被研究的对象存在数学描述的情况下，可以在电子计算机上进行既经济又快速精确的模拟计算，来成功地代替时间长而又昂贵的汽车道路试验和台架试验。

利用快速电子计算机，有可能按新的方式组织汽车部件和总成的设计：可以快速计算各种方案并选取最佳方案，而不用在给定的结构参数的情况下由计算员进行单个计算。同时

电子计算机可以自动地完成各种方案的对比并选取最佳方案。

还应当注意到实物模拟方法或者半实物模拟方法，可以把物理模拟和电子计算机数学模拟的优点结合起来。

在研究闭环自动调节系统中人的工作情况时也用到上述方法。譬如航空练习、台架总合体上的驾驶员——汽车——道路的综合研究、汽车动作过程的电子自动控制系统的调整等等。

计算技术的发展概况。早在远古时代，人类就运用了模拟方法。公元前3800年在巴比伦，把模拟计算（相似计算）应用于挖土工程和绘制地图方面。公元前80年，希腊人在克劳迪·普托罗姆所创制的太阳系模型的基础上制成带有模拟计算装置的天象仪

大家所熟悉的算盘，最早并且长期以来曾经是唯一的数学工具。印度、中国、日本和俄国都曾有过不同种类的算盘。

计算机的发展开始于17世纪。当时许多数学家（如Л. 聂陪尔（Непер），Б.巴斯卡（Паскаль），Г.莱布尼兹（Лейбниц））创制了可减轻计算劳动量的机械式计算装置。计算技术发展的这一阶段一直延续到20世纪初。这一时期创制计算机的俄国人：奥得涅尔（В.Т.Однер）工程师，他制做的字轮成为各种计算器的构造基础（1874）；切比雪夫（П.Л.Чебышев）院士，他研制了计算机的构造原理（1878）；克雷洛夫（А.Н.Крылов）院士，他制成了解微分方程的机器（1904）；朋奇-布鲁埃维奇（М.А.Бонч-Бруевич）教授，他制成了电子触发器（1918），这种触发器的构造原理广泛应用到现代电子计算机上。

20世纪30年代制成了首批继电器式数字计算机（德国的Z-1和美国的BELL-1）。

后来，计算机向两个方面发展：模拟计算机和数字计算机。

第一台电子数字计算机要算“ENIAC”机，它是1945年由美国宾夕凡尼亚大学研究员艾凯尔（Эккерт）和莫茨里（Моучли）研制的。这是由电子继电器组成的电子管计算机。

苏联的第一台电子微分分析器是1946年由古钦马赫（Л.И. Гутенмахер）领导的集体研制的。

1947年在基辅由列别捷夫（С.А. Лебедев）院士领导下开始研制小型电子计算机 МЭСМ，并于1951年投入使用。

现代模拟电子计算机的出现，归功于无线电电子学的发展和50年代初直流放大器的完善。这样，从20世纪后半叶开始，电子计算机无论在苏联还是在外国都进入了蓬勃发展时期。

1952~1953年，苏联有了首批系列机 БЭСМ-1，“箭牌”（СТРЕЛА），М-2。1951年美国有了首批系列机，即 UNIVAC 和 IBM-701。

苏联学者和工程师（列别捷夫（С.А. Лебедев），特拉皮兹尼科夫（В.А. Трапезников），格鲁什科夫（В.М. Глушков），乌沙科夫（В.Б. Ушаков），巴吉列夫斯基（Ю. А. Базилевский），彼得洛夫（Г.М. Петров），舒拉-布拉（М.Р. Шура-Бура），布鲁克（И.С. Брук），拉米也夫（Б.И. Рамеев）等）对现代电子计算机的发展做出了重要贡献。

制造和应用数字计算机和模拟计算机的一般问题。按照表示和加工信息的方式不同，电子计算机又划分为离散作用式或数字式计算机，和连续作用式或模拟式计算机。

数字计算机中，信息是以离散的数字序列形式表示的。

在这种情况下，“数”这个概念已具有十分广泛的含义。数字计算机可以把任何一种语言的单词当作数来表示，而任何一种字母表中的字母可以用数码来表示。数字计算机上的计算过程本身也具有更广的含义。计算已经不只是完成算术运算，而是泛指原始数据的任何一种处理过程。

数字计算机靠程序来完成信息的加工，这种程序规定了这些机器的统一规则。当从一个问题转到解另一个问题时，只需向机器送入新的程序和新的原始数据即可。数字计算机的结构（它各部分的连接方式）保持不变，也不依赖于要解的题目。

模拟计算机中所加工的信息是以连续形式表示的随时间变化的物理量（电压、电流等）。模拟计算机的特点是，它们由分离部件组成，每一个部件完成一种数学运算。解题时，所需要的部件（加法部件、乘法部件、积分部件等）按照所解题目的模拟框图进行排队。因此，待解问题的种类和难度受到模拟计算机设备构成的限制。

模拟计算机主要用于解常微分方程，并且在解汽车部件和总成的动力学问题时，比数字计算机更有效。这是因为模拟计算机具有如下重要优点，诸如备题过程简单，题解直观，修改参数方便以及计算速度高。利用以串行方式处理信息的数字计算机来解动力学问题，所需要的时间远远超过以并行方式处理信息的模拟计算机解同一问题所需的时间。

模拟计算机在工程初步设计阶段尤其有效，因为初步设计阶段需要研究大量的方案，而精度并不要求很高。模拟计算机的机器变量在 ± 100 伏范围之内变化，它的工作误差为最大机器变量值的 $5\sim 7\%$ 。但是这并不妨碍模拟计算机的应用，因为采用模拟计算机来研究其动力学问题的那些系统，都用较粗糙的动力学模型予以代替，而这些模型的参数往往

精确到10~20%。因此用数字计算机解此类问题时，它所提供的高精度并没得到利用。

由于模拟计算机上解微分方程时灵活而简便，近年来制造出兼有这两类计算机优点的模拟-数字混合式电子计算机。

应当强调指出，模拟计算机和数字计算机的发展并非相互排斥而是相互充实和补充的。电子计算机的使用经验可以提供充分的依据，确定哪些问题用模拟计算机来解更有效，哪些问题用数字计算机来解更有效。在解决具体问题时，正是从这些观点出发去选择不同类型的电子计算机。

1.2 模拟电子计算机的组成部分和解题部件

模拟电子计算机的部件。模拟计算机不管什么型号，它们的构造原理大体上都一样。图 1.1 所示为模拟计算机的主要组成部分：

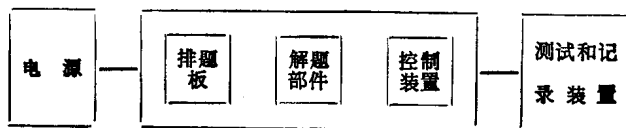


图1.1 模拟计算机的主要组成部分

a) 电源是用来向模拟计算机的各个部件提供所需要的电源电压；

b) 排队（配电）板，用途是用配电软线把解题部件联接起来，排好所要解的问题；

c) 解题部件，用来完成数学运算；

d) 控制装置，用来控制备题和解题的过程。控制装置产

生出一系列命令，来控制模拟计算机在各种状态下工作，诸如置零，建立初始条件，机器的启动、停止，解题线路的复原等等；

д)测试和记录装置，在预备解题过程中用来调整解题部件，以及直观地显示和测出解题过程。这种装置有指针式、数字式和印刷式电压表，电子式或回线式示波器，自动记录仪。

运算放大器。运算放大器是解题部件的主要组成部分。这种运算放大器可以完成与解常微分方程有关的大量的线性运算。并应用于非线性解题部件中。

直流放大器、反馈电路和输入电路（图 1.2）是运算放大器的组成部分。

电子管直流放大器或晶体管直流放大器具有很高的放大系数（ $K = 10^4 \sim 10^6$ ）（图 1.3）。这种放大器由奇数个放大级组成，这样可以保证被放大的信号改变符号。直流放大器的输出电压 $U_{\text{ВЫХ}}$ 和输入电压 U_c 有如下关系：

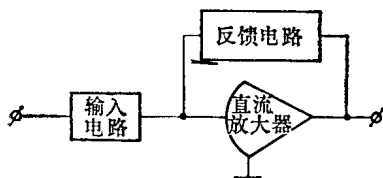


图1.2 运算放大器示意图



图1.3 直流放大器的表示记号

$$U_{\text{ВЫХ}} = -KU_c \quad (1.1)$$

直流放大器的缺点是所谓“零点漂移”，也就是没有输入电压的情况下，输出电压却有变化。漂移主要是放大器各级之间的电位耦合造成的，它是模拟计算机解题中的误差来源。因此，在解题过程中反复检查放大器的零点漂移，必要

的时候借助专用装置把它显示出来。一般精度不高的模拟计算机，工作 10 分钟之后输出端漂移不应超过 1~2 毫伏。有的直流放大器没有零点漂移。

有电阻和（或）电容的输入电路和反馈电路决定运算放大器所执行的数学运算种类。

运算放大器具有负反馈。把放大器输出端的部分电压传递到放大器的输入端，即为运算放大器的反馈。如果这些电压的相位相反，也就是如果运算放大器的输入端电压是正的，而输出端是负电压，或者相反，则称这种反馈为负反馈。

常系数乘法和反相运算。我们来分析图 1.4a 所示的运算放大器的工作。输入电压 U_{BX} 经由电阻 R_1 加到直流放大器的输入端，该直流放大器的反馈电路中接有电阻 R_0 。

按照克希霍夫第一定律，对 A 点的电流方程为

$$i_0 + i_c = i_1$$

式中 i_0 为反馈电路中的电流； i_c 为直流放大器的输入电流； i_1 为流经 R_1 电阻的电流。

因为直流放大器的输入阻抗比 R_0 大得多，所以流经它的电流不大，其值可以忽略不计，亦即 $i_c \approx 0$ ，于是 $i_0 = i_1$ 。

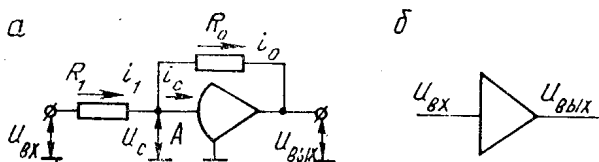


图 1.4 比例放大器和反相器
a-示意图，b-规定的标记

现在我们根据欧姆定律，用电阻阻抗及电阻两端的电位值来表示电流：

$$\frac{U_c - U_{\text{БЛX}}}{R_0} = \frac{U_{\text{BX}} - U_c}{R_1} \quad (1.2)$$

由 (1.1) 式得 $U_c = -\frac{U_{\text{БЛX}}}{K}$ ，并且因为和 $U_{\text{БЛX}}$ 相比较， K 的值无穷大，故取 $U_c \approx 0$ 。于是从 (1.2) 式得到

$$U_{\text{БЛX}} = -\frac{R_0}{R_1} U_{\text{BX}} = -K U_{\text{BX}}, \quad (1.3)$$

式中 K 为传递系数： $K = \frac{R_0}{R_1}$ 。

选配 R_0 和 R_1 ，就可以得到所需要的系数 K 。“负号”表示运算放大器对输入信号进行逆变换（取反号）。

这样，运算放大器（见图 1.4a）的输出端得到的电压等于输入电压与传递系数 K 的乘积。这种运算放大器称作比例放大器。

当 $R_1 = R_0$ 时，方程 (1.3) 具有如下形式：

$$U_{\text{БЛX}} = -U_{\text{BX}}$$

在这种情况下，运算放大器只是改变了输入电压的符号，也就是进行了反相运算，并把这种运算放大器称作反相器。图 1.46 所示为表示比例放大器和反相器标记。

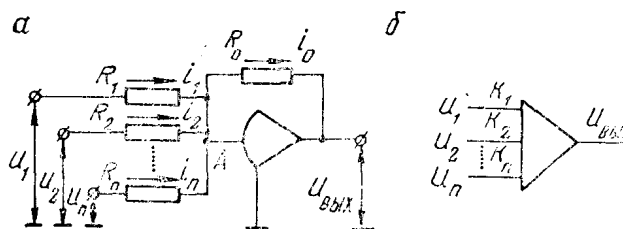


图1.5 加法器
a-示意图；б-规定标记

求和。图 1.5a 所示为上述运算放大器的示意图，但具有 n 个输入端。上述所有概念在这里都成立，但是这里反馈电路的电阻 R_0 上的电压降是由输入电流的代数和所构成：

$$i_0 = i_1 + i_2 + \dots + i_n \text{ 或者}$$

$$-\frac{U_{\text{BHX}}}{R_0} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n}$$

由此可得

$$U_{\text{BHX}} = -\left(\frac{R_0}{R_1}U_1 + \frac{R_0}{R_2}U_2 + \dots + \frac{R_0}{R_n}U_n\right)$$

$$\text{或 } U_{\text{BHX}} = -\sum_{i=1}^n \frac{R_0}{R_i}U_i = -\sum_{i=1}^n K_i U_i$$

式中 K_i 为运算放大器第 i 个输入端的传递系数： $K_i = \frac{R_0}{R_i}$ 。

这时，运算放大器的输出电压等于输入电压乘以传递系数 K_i 之后的代数和。这种运算放大器称作**加法器**（图 1.5 6）。

积分。图 1.6 上用电容 C 代替了运算放大器反馈电路中的电阻。输出电流 $i_1 = i_0$ 使反馈电路中的电容器充电。

$$\text{但是 } i_1 = \frac{U_{\text{BX}}}{R_1}, \text{ 而 } i_0 = -C \frac{dU_{\text{BHX}}}{dt}$$

从而

$$\frac{U_{\text{BX}}}{R_1} = -C \frac{dU_{\text{BHX}}}{dt}$$

由此得

$$U_{\text{BHX}} = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t U_{\text{BX}} dt \quad (1.4)$$

这时运算放大器输出端的电压，等于输入电压乘以常数 $\frac{1}{R_1 C}$ 的积分。这种运算放大器称作**积分器**，而系数