

自动测试仪器及系统

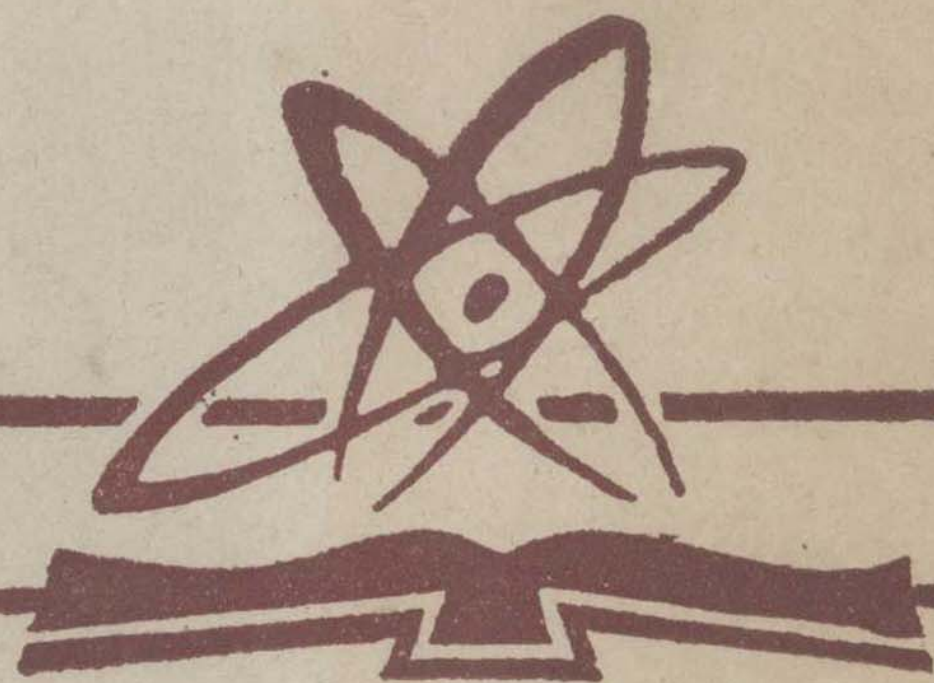
天津大学

刘家松 主编

1
郝飞
Word
1.24



国防工业出版社



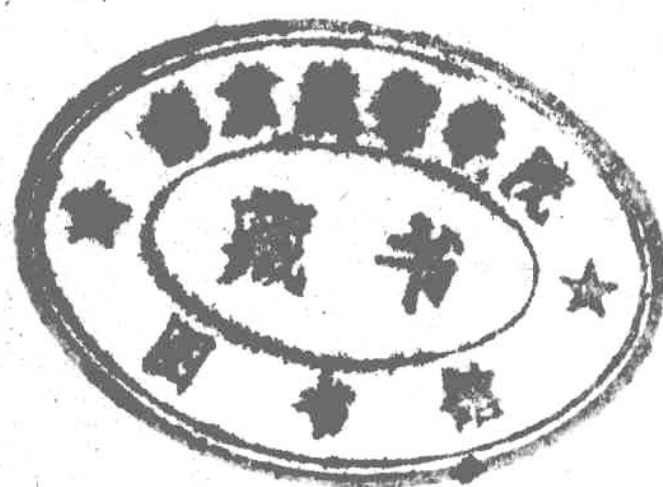
自动测试仪器及系统

天津大学

刘家松 王慧云 恽纪昌编

华中工学院

王飞龙 审订



国防工业出版社

426078

内 容 提 要

本书是高等学校电子仪器及测量技术专业的试用教材，也可供从事电子仪器与测量技术工作的科技人员参考。

本书共分八章。第一章简述电子测量自动化问题。第二章和第三章分别讲述自动测试用的计算机和有关软件。第四章讲述自动测试系统的标准通用接口系统。第五章讲述测试仪器的程控化问题。第六章讲述采用微处理器的自动测试仪器即智能仪器。第七章讲述自动测试系统。第八章讲述自动测试设备的故障诊断。结束语展望了电子测量自动化的发展趋势。

科学出版社

前 言

本书系高等学校工科电子类电子仪器及测量技术专业统编试用教材之一。基本上是根据1978年3月高等学校工科电子类教材编写会议（成都片会）审订的《自动测试仪器及系统》教材编写大纲编写的。

本课程是电子仪器及测量技术专业的专业课，根据参考性教学计划在第七学期学习，学时总数为80~100。在本课程之前，学生已学习了“电子线路”、“脉冲与数字电路”、“计算机原理”和“电子测量原理”等课程。与本课程同时学习的有“电子仪器原理”等课程。

自动化是目前电子测量发展的主要方向。电子计算机的发展和广泛应用，自动化技术的发展，都推动了电子测量自动化的发展。自动测试仪器是内部装有微处理器（专用微型计算机）的仪器，而自动测试系统大多数是用计算机控制的。这是一门新兴的边缘技术学科。通过本课程的学习，应使学生掌握自动测试的基本原理与技术，以便将来为我国电子测量自动化贡献力量。

本书共分八章，其主要内容及重点如下：1.第一章概括说明电子测量自动化问题。2.第二章讲述微处理器和自动测试用计算机，以8080微处理器及其系统为重点。3.第三章讲述自动测试用计算机软件，以8080汇编程序和BASIC扩展型为重点。讲授第二、三两章时，应注意与先修课程“计算机原理”的衔接和“自动测试用”的特点。4.第四章讲述自动测试系统接口系统，以国际电工委员会推荐的通用标准接口母线（IEC-IB）或HP-IB为重点。第二、三、四章是本课程的基础部分。5.第五章讲述测量仪器的程控化，重点放在通过接口进行程控方面。6.第六章讲述采用微处理器的自动测试仪器即智能仪器，着重阐述智能仪器的基本结构与特点、设计原则和微处理器选择等问题，并分析一些典型仪器。7.第七章讲述自动测试系统，阐明第一、二、三代自动测试系统的组成与特点，着重介绍大规模集成电路测试系统和自动网络分析仪。讲授第六、七两章时，应注意通过典型仪器和系统，使学生加深理解。8.第八章讲述自动测试设备的故障诊断，重点放在自动测试仪器的故障诊断技术和基本检测装置方面。9.结束语展望了电子测量自动化的发展趋势。

在本课程的教学过程中，可根据条件安排适当的实践环节。例如在微处理器和微型机方面安排一些参观和实验，特别是自动测试仪器和系统方面更应安排一些参观和实验。

本书由天津大学电子工程系电子仪器及测量技术教研室刘家松主编，由刘家松（第一、六、七、八章及结束语）、王慧云（第二、三章）、恽纪昌（第四、五章）分工编写。编写过程中得到成都电讯工程学院等兄弟院校的有关系和专业的领导和教师、四机部仪器处和情报所以及电子测量仪器专业情报网等有关单位和组织、天津无线电一厂等天津市的兄弟单位等的帮助和鼓励。天津大学电子工程系的有关领导、教师和职工在为本书的编写提供条件、审阅书稿、绘图和整理书稿等方面做了许多工作。编写者对有关单位和同志非常感谢，恕不一一列出单位名称和姓名。

华中工学院信息科学与工程系王飞龙付教授详细审阅本书全部书稿，提出了许多中肯的改进意见，编写者表示衷心感谢。

由于本学科是一门新兴的学科。我国刚进行这方面的工作，国内外的参考资料都有限，又由于我们的水平很低，实践经验很少，本书必然存在许多缺点和错误，欢迎读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 电子测量的自动化	(1)
--------------	-----

第二章 自动测试用计算机	(6)
--------------	-----

§ 2-1 概 述	(6)
-----------	-----

§ 2-2 微型计算机工作原理	(8)
-----------------	-----

§ 2-3 微型计算机系统中央处理器	(16)
--------------------	------

§ 2-4 MCS-80 微型计算机基本指令	(46)
------------------------	------

§ 2-5 半导体存贮器	(78)
--------------	------

§ 2-6 微型计算机接口芯片	(89)
-----------------	------

§ 2-7 微型计算机系统举例	(121)
-----------------	-------

§ 2-8 HP-9825A 可编程台式计算机简介	(126)
---------------------------	-------

附录 I MC6800 微型机指令系统	(133)
---------------------	-------

第三章 自动测试用计算机软件	(140)
----------------	-------

§ 3-1 概 述	(140)
-----------	-------

§ 3-2 微型计算机程序设计	(142)
-----------------	-------

§ 3-3 微型计算机的监控程序 (MONITOR)	(172)
----------------------------	-------

§ 3-4 微处理器研制系统简介	(195)
------------------	-------

§ 3-5 测试用 BASIC 语言的扩充	(200)
-----------------------	-------

§ 3-6 ATLAS 语言简介	(211)
------------------	-------

附录 II ASCII 码表	(214)
----------------	-------

第四章 标准接口系统	(215)
------------	-------

§ 4-1 概 述	(215)
-----------	-------

§ 4-2 HP-IB 标准接口系统的性能和母线结构	(217)
----------------------------	-------

§ 4-3 接口功能及其子集	(221)
----------------	-------

§ 4-4 三线连锁挂钩过程	(228)
----------------	-------

§ 4-5 远地消息编码	(230)
--------------	-------

§ 4-6 接口功能的状态图	(239)
----------------	-------

§ 4-7 接口功能的逻辑设计	(265)
-----------------	-------

§ 4-8 状态图的实现	(272)
--------------	-------

§ 4-9 CAMAC 标准接口系统	(279)
--------------------	-------

附录 III 接口功能子集表	(284)
----------------	-------

第五章 测量仪器的程控化	(290)
--------------	-------

§ 5-1 概 述	(290)
-----------	-------

§ 5-2 程控仪器的寻址	(297)
---------------	-------

§ 5-3	遥控和本控的切换	(301)
§ 5-4	装置消息的编码格式	(303)
§ 5-5	程控命令的编码格式	(311)
§ 5-6	测量数据的编码格式	(318)
§ 5-7	测量数据的输出方式	(320)
§ 5-8	状态字节 (状态数据) 的编码格式	(321)
§ 5-9	程控仪器的响应时间	(323)
第六章	采用微处理器的自动测试仪器	(327)
§ 6-1	概 述	(327)
一、	最早的智能仪器举例—— <i>HP1722A/B</i> 示波器	(327)
二、	采用 4 位微处理器的早期智能仪器举例 —— <i>DAN A9000</i> 系 列微处理器计时器/计数器	(337)
三、	采用 8 位微处理器的智能仪器举例 —— <i>HP3745A/B</i> 型选择电平测量装置介绍	(346)
四、	采用两个微处理器的智能仪器举例 —— <i>HP3455A</i> 数字电压表介绍	(350)
五、	智能仪器结构上和功能、性能上的特点的小结	(353)
§ 6-2	带微处理器的仪器的设计和研制问题	(355)
一、	带微处理器的仪器设计和研制的基本方法与步骤简介	(355)
二、	采用微处理器的仪器设计 (练习) 举例	(361)
§ 6-3	<i>Solartron 7055/7065</i> 型微处理器电压表	(369)
一、	概 述	(369)
二、	7065 (7055) 电压表模拟部分简介	(374)
三、	关于程序与键盘使用的说明	(376)
四、	数字部分的说明	(386)
五、	程序和接口选用件的简单介绍	(392)
	结束语	(393)
第七章	自动测试系统	(394)
§ 7-1	概 述	(394)
一、	第一代自动测试系统	(394)
二、	第二代自动测试系统	(396)
三、	第三代自动测试系统	(402)
§ 7-2	大规模集成电路测试系统	(408)
一、	概 述	(408)
二、	大规模集成电路测试系统举例之一	(416)
三、	大规模集成电路测试系统举例之二	(432)
§ 7-3	典型自动测试系统举例—— <i>HP8507A/B</i> 自动网络分析仪	(434)
一、	网络分析与网络分析仪	(434)

二、射频自动网络分析仪 8507A/B 概述.....	(437)
三、HP8505A 网络分析仪	(439)
四、8503A 等测试装置	(449)
五、8507A/B 的接口与程控问题	(450)
第八章 自动测试设备的故障诊断	(460)
§ 8-1 一般电子仪器的故障诊断技术简介.....	(460)
§ 8-2 自动测试仪器的故障诊断技术与使用的基本检测装置.....	(462)
§ 8-3 自动测试系统的故障诊断简介.....	(477)
结束语	(478)

第一章 电子测量的自动化

人和其他高级动物的主要区别之一，就是不但会使用工具，而且会创造工具。在人类历史上，工具（机器也包括在内）的创造和革新，常常对生产力的发展产生重大影响。过去人类创造的种种工具，大都是人体某些部分模仿、扩大或延长；能够代替或扩大人体这些部分的作用。手工业时代的工具，多是人的手、脚、腿、腕等的模仿、扩大或延长。十八世纪七、八十年代，蒸气机的发明和广泛应用，（它把化学能中的热能变换成机械能，在某种意义上起了代替肌肉的作用）引起了第一次产业革命，生产力大大向前发展。二十世纪以来，出现了一种新的机器，它的主要功用是“信息处理”，因而叫做“信息机器”例如各种电信设备，无线电装置和其他电子设备都属于信息机器。信息机器所代替的正是人类的神经系统或大脑的一部分功能，也就是代替一部分“智能”。电子仪器当然是属于信息机器，或者说电子仪器都是有一些智能的。例如有过电压保护就是有“自保护能力”，具有一定的测量灵敏度就是有“感知周围环境的能力”等等，都属于智能。但是，现在说的智能仪器，并不是指具有某些简单智能的一般电子仪器，而是指本身有包括计算在内的数据处理功能，通常是内部装有微处理器的仪器。

二十世纪以来，特别是二次世界大战以后，生产逐步走向自动化，而且自动化程度越来越高。电子计算机的出现，特别是1946年数字电子计算机的出现，尤其六十年代以来数字计算机的广泛应用，推动了生产自动化的发展，自动测试系统和设备也出现了。尽管自动测试系统和设备在五十年代已经开始研制，也出现过某些初步的产品，但较完善的自动测试系统和设备是六十年代后期才出现的，通常是包括电子计算机的。至于自动测试仪器即智能仪器，则是七十年代初期，微处理器问世以后才出现的。自动测试仪器和系统的发展非常迅速，它们是电子测量仪器和设备的主要发展趋势。

自动测试仪器和系统的出现与发展，当然是生产力发展的需要，而生产力的发展（尤其是计算机技术和半导体技术的发展）为它们的出现和发展提供了条件。生产、科学研究，交通运输，军事和国民经济各个领域的需要，促使了电子测量仪器和系统的自动化。其中主要是：（1）产品日益复杂而且质量要求也相应提高，一些技术上非常复杂的产品，如大规模集成电路和较复杂的电路板需要测试项目很多，而且有些测试已经难以用人工方法来完成，自然而然地要求测试自动化。（2）从经济方面来看，由于电子产品越来越复杂，测试和调试工作也越来越繁重，用人工进行就需要许多熟练的技术人员花费大量的工时，花费既多速度又慢，自动测试则可以降低成本，提高速度，以大规模集成电路为例，如果用人工进行全面的测试，测试费可用能要远远超过制造费用。（3）科研国防和生产的许多领域，要求及时采集大量的数据并迅速进行分析处理，在军事、航空和宇宙空间的研究方面这类情况较多，这都要求自动测试。我们知道自动测试技术的出现和早期的发展是和军事方面的需要分不开的，从一些文献中可以清楚地看到这一点。

生产力的发展，科学技术的发展，特别是计算机技术和半导体技术的发展，为电子测量仪器和系统的自动化奠定了物质基础。（1）计算机的发展和广泛应用，不但促进了生产自

动化,也促进了测试自动化,六十年代后期出现的自动网络分析仪和大规模集成电路自动测试仪都是采用小型计算机作为控制器的。(2) 半导体大规模集成电路的发展,尤其是微处理器的出现,从而出现了微型计算机,也使小型计算机得到许多改进,这也促进了测试自动化的发展。特别是微处理器体积非常微小,可以组成专用微型计算机装入仪器内部而不增加其体积和重量,却增加了包括计算在内的数据处理功能,这就构成了自动测试仪器即智能仪器。(3) 还应提到电子测量技术和仪器本身近年来的发展,它也是测试自动化的一个必要条件。这方面可以提到的是小型化、数字化、固态化等方面的显著改进,扫频、取样、锁相,频率合成和模数变换等技术的进展和在仪器中的应用都是有利于自动化的。在上述的基础上,近十余年来,电子测试的自动化在西方工业先进国家迅速发展。前几年自动测试仪器和系统的销售额每年都是大幅度的增长,近一、二年西方经济很不景气,但它们的销售额增长仍不小。

测试仪器和系统的自动化,主要是应用计算机的结果。正是由于利用了计算机,不但测试可以在程序控制下自动进行,而且对测量数据能够及时分析处理,从而带来一系列的技术特点。主要有:(1) 测试速度显著提高。由于在计算机控制下测试自动进行,其中包括自动调整,记录和处理数据,显示和输出结果等,测试速度一般比人工测试要提高几十倍甚至几百倍。(2) 仪器的性能提高,功能增多。自动测试仪器通常都能自选量程,自动校准,有的还能自动调整测试点,从而显著提高了测量准确度。此外,在分辨率,测量范围和频带宽度等方面也有相应的改进。多功能性也是自动测试仪器的一个特点,例如一台带微处理器的数字多用表可以测量交、直流电压和电流、电阻以及温度等等,又如 HP 公司的 8580A/B 自动频谱分析仪可作为选择电平表,选择频率计,失真度测量仪、频谱分析仪和频率响应测试仪使用。自动测试仪器通常都是可以程控的,可以在自动测试系统中应用。(3) 具有数据处理功能。能够进行包括计算在内的数据分析和处理,这是自动测试仪器和系统的突出特点。这不但可以使用户从繁重的数据处理中解放出来,而且这种数据的迅速处理,可以让一些需要根据以前测量结果而确定下一步如何进行的工作,及早做出决定。这些功能属于仪器的“智能”。(4) 设计制造容易,维修简便,价格低廉(价廉主要是对仪器来说),可靠性高。看起来自动测试仪器和系统是比较复杂、不易研制和制造的。其实不然,由于它们利用了计算机,用软件代替许多惯用的硬件,使仪器和系统的结构显著简化,从而缩短了研制设计的时间,也容易制造。当然,在软件的研制方面要付出相当的代价,但一旦研制出来,生产就很容易了。由于硬件的减少和改进,再加上微处理器等大规模集成电路或者小型机,微型机本身的价廉而且可靠性较高,从而降低了成本并提高了可靠性。有些自动测试仪器和系统有故障自诊断功能,便于维修。另一些没有自诊功能,出了故障可用逻辑探头,逻辑分析仪等进行诊断。近年来在设计时考虑了便于现场维修的问题,采用了特征分析的方法,用很简单的特征分析仪就能迅速找出故障。此外,最近内部装有自动检测设备(BITE)的智能仪器也出现了。

自动测试仪器和系统在各个领域得到了广泛的应用,不但在有关电子、电工的各个领域而且在许多非电的领域也广泛采用。过去认为在(1) 多次重复的测量和操作的场合,(2) 要求技术性强的复杂操作的场合,(3) 对工作人员健康有害或工作人员难以接近的场合等采用自动测试是有利的。现在看来应用范围已超出上述几种场合,特别是自动测试仪器,正越

来越多地代替一般测试仪器，在一般场合也得到广泛的应用。

下面我们对自动测试系统和自动测试仪器的发 展简况，分别加以说明。

一、自动测试系统

什么是自动测试系统，给它下个确切的定义也不容易。有的文献上说：“一个测量系统是由许多测量、分析（有必要时）以及用有用的形式显示出测量结果的仪器的组合整体”。如果这个系统能够自动进行测量、分析和显示结果等等，就是自动测试系统了。还有文献上说：“一个自动测试设备是具有在人工最少参与的情况下校验被测试装置和显示校验结果所必需的一切功能的设备。”这里的“设备”可以指“系统”。从而可认为，自动测试系统是“一个在人工最少参与的情况下能够自动进行测量，数据处理并以适当方式显示或输出结果的测量系统”。

五十年代已经开始研制自动测试系统，出现了一些自动数据采集（探测）系统（巡回检测系统）。早期的这种系统并不采用电子计算机作为控制器，而是采用简单的定时与控制装置控制一个电子扫描器采集各个探测点的输入，送到数字电压表之类的数字仪器进行测量，显示并将结果送到打印机或记录器记录。这类系统至今仍广泛应用，但不能算作完善的自动测试系统。六十年代后期出现了采用计算机作控制器的较完善的自动测试系统，可以叫做第一代自动测试系统。包括采用电子计算机的数据采集系统、自动数据分析系统（如自动网络分析仪）和检验、测试大规模集成电路、印刷电路板或接收机之类器件、组件与装置的自动测试系统。第一代自动测试系统的主要特点是采用计算机和由此而带来了功能和性能方面的改进。但在设计和组建这类自动测试系统方面还存在不少问题，特别是仪器与仪器或被测件之间，仪器与计算机之间连接用的接口没有标准化，组建这种系统必须自行解决接口问题。后来许多工厂和研究机关研究了接口标准化问题，提出了一些标准化的接口。其中美国HP公司于1972年发表的HP-IB标准接口系统受到普遍重视并得到广泛应用，不但美国电机与电子工程师学会已采用这种标准接口系统（IEEE-488），而且国际电工委员会（IEC）也准备采用。目前已经有许多程控仪器，自动测试仪器和小型计算机与编程台式机备有这种接口功能。可以用HP-IB或IEC-IB接口母线很方便地把它们连接起来。接口的标准化给组建自动测试系统带来了很大的方便。选用具有这种标准接口功能的适当的程控或自动测试仪器、小型或微型计算机或编程台式机，用标准接口母线连接起来就可以组成一个自动测试系统。当然组建这种系统时也要解决一些必须解决的问题，如软件的编制和专用测试支架之类硬件的制作等等。但无论如何，也使组建工作显著简化。（图1-1是这种系统的方框图）。而且不但组建比较容易，使用完了后拆散也很容易，拆散后所用仪器和计算机可作别用。这种情况对于实验室和研究单位是很有利的。采用标准接口系统的测试系统是第二代的自动测试系统。这种系统目前应用颇为广泛。从用途方面来看，大体可分为通用和专用两大类。通用的自动测试系统，如通用的自动网络分析仪，通用的大规模集成电路测试仪，通常都是构造较为复杂，价格相当昂贵。尽管它们功能较多、性能很好、使用方便、但价格昂贵却限制了它们的广泛应用。专用的因为所需功能较少，自然可以使结构简化、价格降低。无论第一代还是第二代的自动测试系统，计算机只是作为控制器使用，其任务是“控制”和数据处理，而测试本身仍由所用的仪器进行计算机并不参与。显然，这并没有充分发挥计算机的作用。如果充分发挥计算机的作用，让计算机参与测试，从而减少和简化一些测试仪器，这既

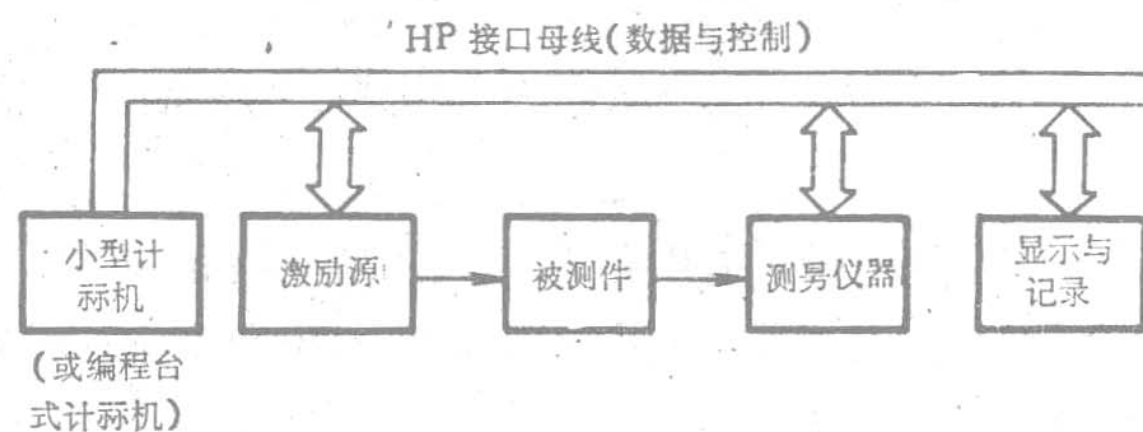


图 1-1 采用 HP-IB 接口母线的自动测试系统方框图

能简化自动测试系统的结构，又能降低成本。1975、1976 年间出现了第三代自动测试系统的概念，近年来也有这类试验性的系统出现。第三代的自动测试系统有三个不同于前两代的特点：计算机参与激励的发生和测量特性的解析、在线应用软件系统和程控接口装置。其中最主要的计算机参与激励的发生和测量特性的解析，也就是说利用计算机产生激励信号从而省去或简化信号源，计算机参与测量特性解析也简化了测量所用的硬件，这样可以使测试系统显著简化。目前自动测试系统正向第三代发展。

二、自动测试仪器

自从 1971 年末微处理器问世之后，不久就被用到仪器上，从而出现带微处理器的自动测试仪器。1973 年已经有几种这样仪器。HP 公司的 1722A 示波器是最早的这种产品之一，它内部的专用微型计算机是由 HP-35 型袖珍计算器改装的，虽然自称“微处理器”，实际上还够不上正规的微处理器。它已具有带微处理器的仪器的一些特点，如测量在程序控制下进行，具有计算功能，能够显示相对值和倒数等等。当然，它还不是完善的智能仪器，也没有接口功能。早期的这类仪器多采用 4 位微处理器 4004 或 4040，如 Systron Donner 公司的 7115 型电压表，DANA 公司的 9000 系列计时器/计数器。这些仪器已具有智能仪器更多的特点，如面板上已采用键盘从而淘汰了许多传统的波段开关和调节器等，自校准功能和一些计算功能、接口功能等等；7115 型还有自诊断功能，9000 系列还有自动调节测试点（触发电平）的功能等。后来出现了许多较为完善的智能仪器，多采用 8 位的微处理器（如 M6800、8080、Z80 等），其中如 HP3455A 数字电压表采用两个 8 位的微处理器（HP 公司自制的），Fluke 公司 8500A/8502A 数字多用表采用 8080，Solartron 公司 7055/7065 微处理器电压表采用 M6800，Norland 公司的 NI-2001 示波器采用 8080 等等。这些仪器已经和传统的仪器大不相同，从面板上来看，通常比较简明、功能和量程的选择一般都用按键选择。面板上的键盘大都和计算器用的相似，有些仪器的按键多是一个键有两种功用，从而使面板进一步简化。这些较完善的智能仪器除具有前面已提到的一些特点外，最主要的特点就是具有几种很有实用价值的程序，可通过接口或者从前面板选择。这些程序通常包括：乘（将测得值乘以一个常数）、偏移（把测得值减去一个常数）、比例、百分比偏差、最大/最小、极限等等。近来又出现了某些采用 16 位微处理器的仪器。随着 16 位微处理器的发展和广泛应用，这类仪器必然增多。可以预计自动测试仪器的功能和性能，今后将不断的提高，过去只有自动测试系统才能完成的某些测试，或许可用自动测试仪器完成了。

图 1-2 是自动测试仪器方框图。由于这类仪器种类繁多，因而这个方框图只能代表其中某些类型的仪器，图 1-2 是代表数字电压表和计数器之类的仪器。从这个方框图可以看出自

自动测试仪器结构上的第一个特点就是以微处理器部分(即专用微型机)为核心。可以认为这种

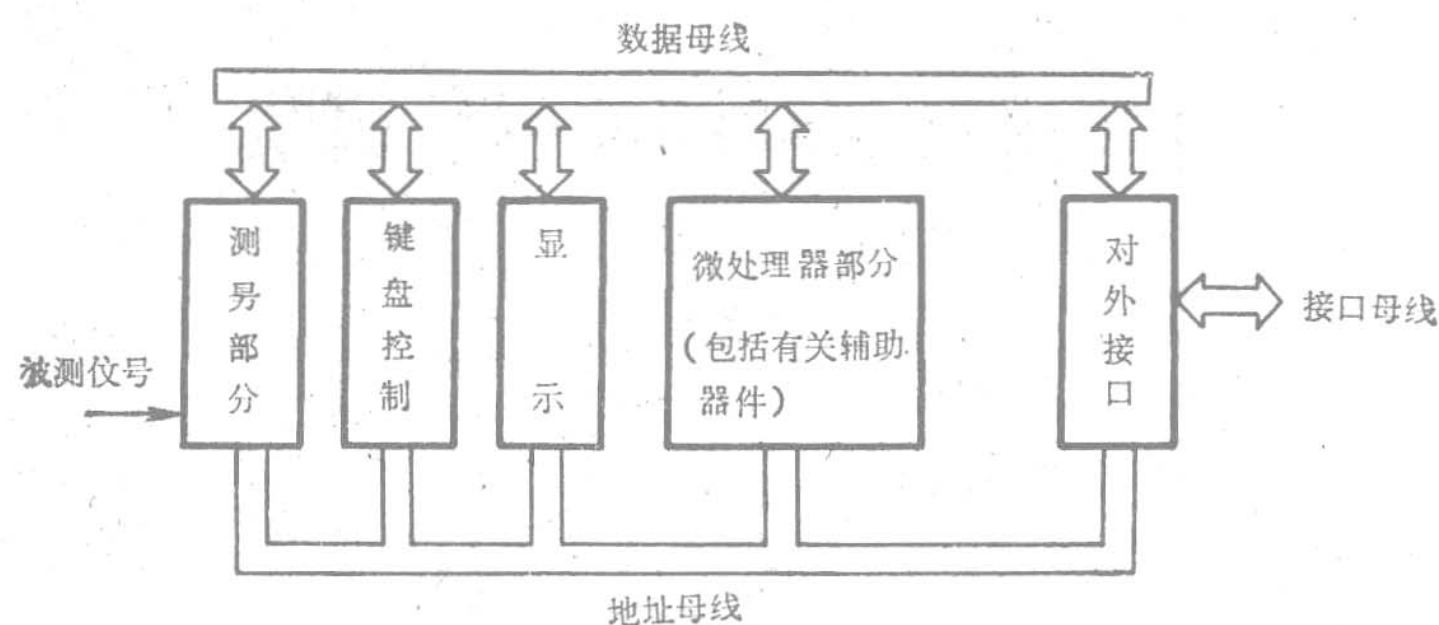


图 1-2 自动测试仪器（数字电压表或计数器之类的仪器）的方框图。

仪器是围绕微处理器部分组成,把其他部分看成微型机外部设备也未当不可。当然并不是说其他部分不重要,由于微处理器本身速度较慢,测量部分的高速器件是确定频率上限的主要因素,而且准确度和分辨等主要指标,也和测量部分的一些关键元器件或组件以及采用的一些技术有关。另一个结构上的特点就是母线结构,仪器内部有数据母线(双向)和地址总线,对外接口也通过母线。结构上的其他特点以及自动测试仪器的优点,将在第六章中再加以说明,这里不多举。

自动测试仪器种类很多,目前电压表、计数器、频率计、示波器、各种信号源、各种电桥、和许多其他测量仪器都有自动化的产品了。应该指出,还出现了一些过去从来没有的仪器,例如逻辑分析仪。我们知道,由于计算机的广泛应用,各种数字系统的应用也越来越普遍,例如数字通信已应用很广。在计算机和数字系统或设备中(自动测试系统和仪器也包括在内),经常和数字数据打交道。从而除了传统的时域测量和频域测量之外,又出现了数据域测量的问题。测试计算机和数字系统用的许多仪器,可以说是数据域测量仪器。例如逻辑分析仪就属于这类仪器,通常是来诊断故障的。

自动测试仪器正在迅速发展,有人说今后新设计的仪器,如果不带微处理器,可能就没有销路了。(这当然是指西方工业先进的国家)。虽然不一定最近的将来就是这样,但今后自动测试仪器将越来越多地取代相当多的传统仪器,是没有问题的。

我国正在研制自动测试仪器和自动测试系统。我们从事这方面工作的人,要奋发图强,及早做出成绩,为四个现代化做出贡献。

第二章 自动测试用计算机

§ 2-1 概 述

通常可供自动测试系统选用的电子计算机有:

- 1) 多功能通用的小型电子计算机, 如 *DJS-130* 系列, *NOVA* 系列, *PDP-11* 等。
- 2) 可编程的台式计算机, 如 *HP-2100*, *HP-9825A* 等。
- 3) 微型电子计算机, 如 *MCS-4/40*, *MCS-80*, *MCS-6800*, *MCS-Z-80* 等。

近年来由于微型计算机的飞速发展和广泛运用, 不但在自动测试系统中可用这种计算机作为控制器, 而且由于它的体积微小可装入仪器内部而不增加体积和重量, 却给仪器增添了电脑, 成为通常所说的智能仪器。小型电子计算机已在“计算机原理”课程中讲述, 这里不再重复, 本章只着重介绍微型电子计算机。对可编程台式计算机只作简要介绍。

七十年代初期半导体大规模集成电路 (LSI) 工艺技术的发展, 和计算机极其广泛的应用, 导致了微处理器 (Microprocessor 简称为 μp) 的出现和微型计算机 (Microcomputer 简称为 μc) 的产生。

微处理器是由一片或几片金属氧化物半导体 (MOS) 或双极型大规模集成电路构成的中央处理单元 (简称 CPU)。计算机的中央处理单元, 一般包括运算器和控制器。而微型

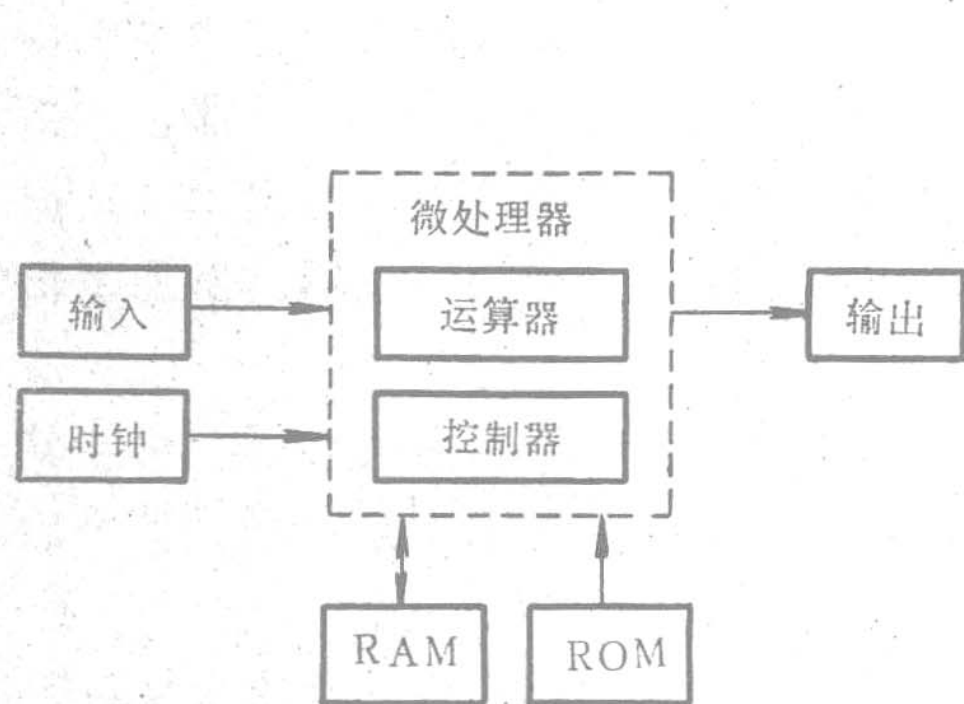


图 2-1 微型计算机组成方框图

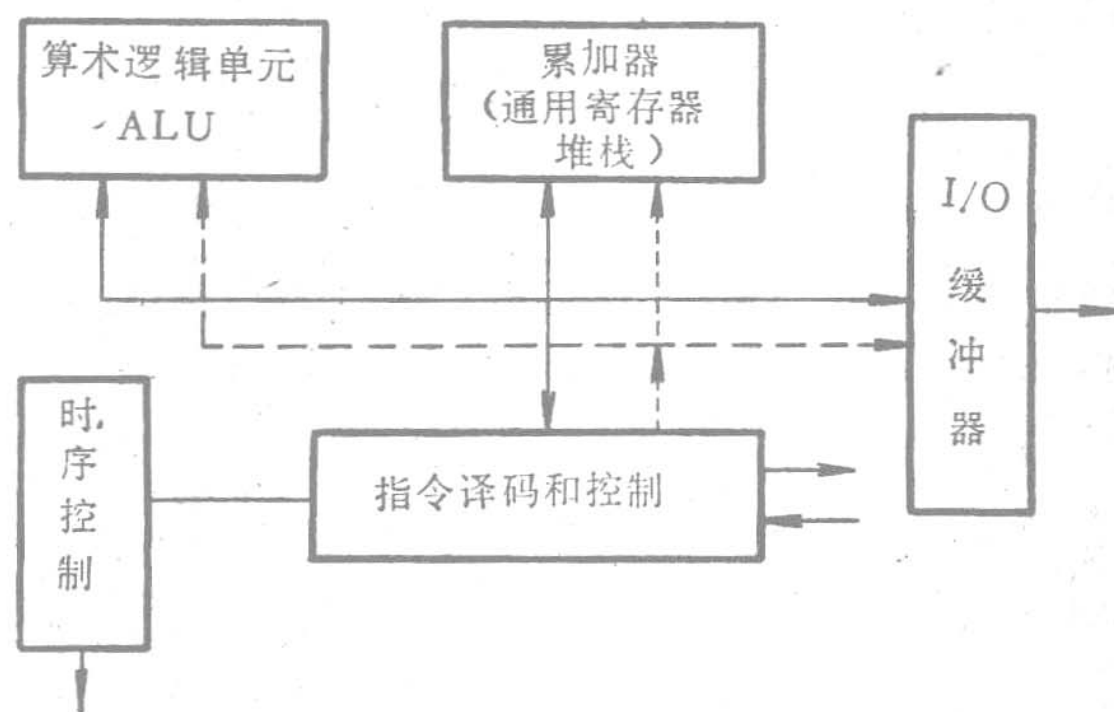


图 2-2 微处理器结构方框图

计算机则是以微处理器为中央处理单元, 配以半导体随机存取存储器 (RAM)、只读存储器 (ROM)、输入/输出 (I/O) 设备、及其它辅助电路构成的程序存储式计算机。图 2-1 为“微型计算机”方框图。图 2-2 为“微处理器”结构方框图。

从功能上看, 由微处理器构成的微型计算机和计算器不同, 它是存储程序式的通用计算机。但是, 目前它在速度、功能和软件的配备上, 还达不到高档小型计算机的水平。微型计算机的出现填补了小型机与计算器之间的空白, 同时微型计算机也覆盖了小型机的低档。多个微处理器联机工作还可以构成中型乃至大型机。

从用户的角度看,无论在体积上,还是在价格方面,微处理器和微型计算机更象一种半导体器件。但它却具有相当的通用性和灵活性,能按用户所编的程序进行逻辑控制和数学运算。

因此,微处理器和微型计算机是自动测试仪器及系统中必不可少的有力工具。

目前微处理器在许多领域中得到广泛应用和迅速发展,其主要原因是由于微处理器具有以往的计算机和“硬线逻辑”装置所没有的特点。其主要特点如下:

1. 价格便宜:微处理器的出现使计算机及其有关设备的成本降低了一到两个数量级。以往一般的小型计算机的价格动辄几万、十几万,很多用户买不起。微处理器的价格十分便宜,一般为几至几十美元(组成微型计算机后也只有几百美元)而且还在逐步下降,这就为广泛采用电子计算机控制和在仪器设备装入微型机创造了十分有利的条件。

2. 体积小,通用性好:微型计算机顾名思义是微型化的计算机,一个微处理器的体积小小到在 $5 \times 5 \text{mm}^2$ 的硅芯片上可以集成一万多只晶体管。通常一片(有的几片)就是一个完整的中央处理单元,再加上若干片大规模集成的存贮器和输入/输出接口片,就可以实现“单板计算机”,估计到80年代,一个带足够容量的存贮器和输入/输出接口的微型计算机可以集成在一个芯片上(约20万只晶体管)。微型计算机不仅体积小,而且通用性好,它具有通用计算机功能,这是它与“硬线逻辑”装置不同之处。

3. 可靠性高:计算机的可靠性一般受器件数目及质量、焊点和接插点数目和质量的影响。由于整个微处理器被封装在一个或几个片里,焊点和接插点数目和器件大为减少,外部连线也很少。因此大大提高了整机的可靠性。同时,由于微处理器价格便宜,体积小,可以采用冗余技术提高系统的可靠性。

4. 功耗小:一般微处理器的功耗是几百毫瓦的数量级的,而采用CMOS及 I^2L 工艺的,功耗可下降到几十毫瓦的数量级。

5. 灵活性强:它可以按模块结构来扩充,也可以按位片来扩充,达到较大的存贮容量和较长的字长。

微处理器和微型计算机在测量仪器中的使用,可以显著提高仪器的自动化程度,例如可实现输入量的自动收集,测试结果的自动处理,仪器工作状态的自动调节,自动校准以及故障的自动检测,从而提高了测量精确度,增加了测试功能,提高了可靠性。

目前一般通用的微处理器及微型计算机的性能介于计算器和小型机之间,其技术指标大致如下:

1. 字长多为4—8位(现已有16位的)。
2. 基本指令执行周期为1—20微秒。
3. 存贮容量为4K—64K(1K=1024单元)。
4. 具有并行运算、并行输入、输出功能。
5. 基本指令为40—150条。
6. 用一个到几个芯片组成中央处理单元。
7. 有一到两条数据母线。
8. 具有简单的中断能力。

§ 2-2 微型计算机工作原理

微型计算机是力图将小型计算机微型化的产物，但由于大规模集成技术的特点，使微型计算机在结构上与小型机有很大差异，而微型计算机的工作原理与小型机基本上是一样的。

为了便于说明微型计算机的结构特点，先将其基本工作原理作一简要说明。

一、微型计算机基本工作原理

图 2-3 是一台微型计算机系统的基本结构方框图，微型计算机由五个基本部分组成：中央处理单元 (CPU) 的两部分：控制器和运算器，再加上存贮器，输入设备和输出设备。

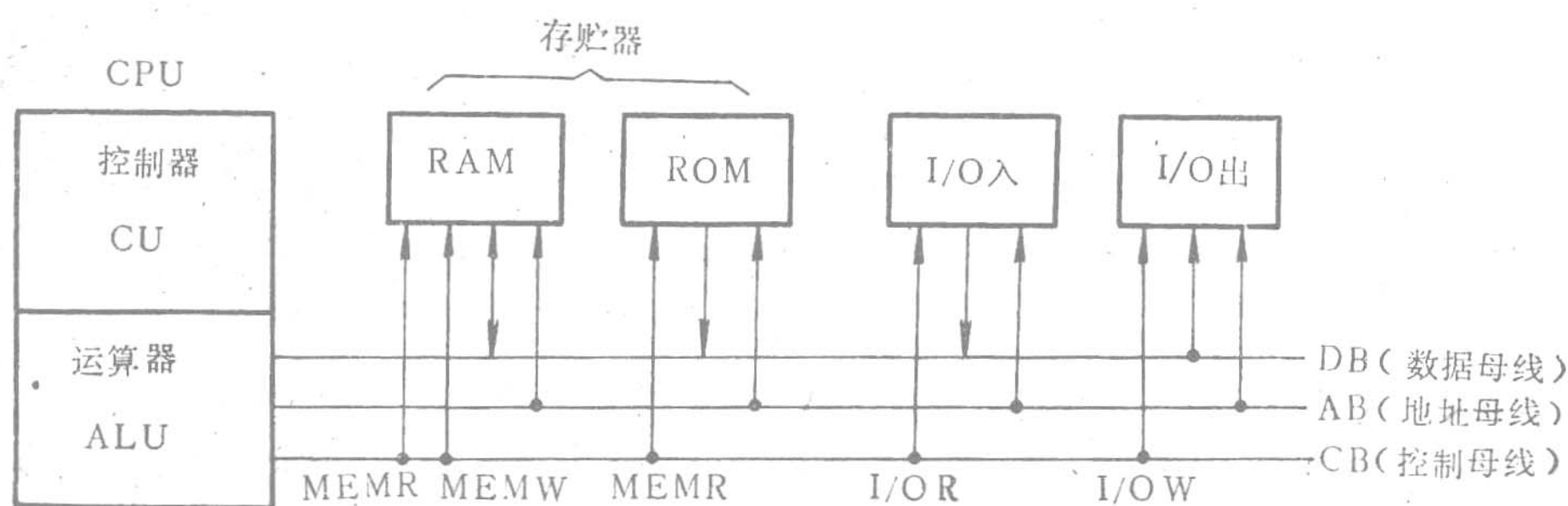


图 2-3 计算机系统基本结构方框图

一个典型的中央处理单元是由下列功能部件组成的：寄存器、运算器、控制电路。

寄存器是中央处理单元内部的临时存贮单元。有些寄存器，如程序计数器和指令寄存器是专用的，而另一些寄存器，如累加器则是通用的。

累加器通常存放运算器要处理的一个操作数。一条典型指令可以让运算器将某一寄存器的内容和累加器的内容相加，并将结果存放在累加器，所以累加器既是操作数寄存器，也是结果寄存器。

在中央处理单元中有许多通用寄存器，这些通用寄存器存放操作数和中间结果，这样就避免了中间结果在存贮器和累加器之间来回传送，因而提高了处理速度和效率。

程序计数器 (PC) 是存放下一条指令地址的寄存器。

存贮器包括很多存贮单元，每个存贮单元都有自己的编号，叫做“地址”。通常，构成程序的一系列指令总是逐条依次存放在存贮器中的。如地址 (n) 存放着第一条指令，则下一个地址 ($n+1$) 就存放着第二条指令。

因为程序的指令是依次存入存贮器中的，所以，处理器每取出一条指令之后，都要将程序计数器的内容加 1，表示下一条指令的地址。

在某些情况下，程序的指令可从存贮器的某一区域的一个存贮单元转移到存贮器的另一区域的某个存贮单元，此时程序计数器的内容可以利用一条“转移”指令来修改。在转移指

令中必须给出下一条指令所在的新地址(m)。当执行转移指令时,处理器将程序计数器的内容修改成为新的地址($PC = m$),从而保持了程序的逻辑连续性,如图 2-5 所示。

当存储器中的主程序“调用”一个子程序时,就要发生一种特殊的程序转移。在这种转移中,处理器需要“记下”发生转移时的程序计数器的内容。以便使处理器能够在子程序完成最后一条指令后返回,继续执行主程序。

子程序通常是在主程序执行中需要反复执行而又具有独立性的一组通用指令。如计算乘方,正弦或一个顺序变量的对数等,又如用来将数据输入或输出到某一特定外部设备的程序等,通常都编成子程序。

处理器有一种专门处理子程序的方法,以保证有秩序地返回主程序。当处理器收到某一条“调用”指令时,它就将程序计数器加 1,并将其内容存放到一个叫做“堆栈”的存储区里。(堆栈的特点是后进先出)。因此,堆栈就保留着子程序执行完后返回主程序要执行的那一条指令的地址。然后处理器就将“调用”指令所规定的地址送入程序计数器,于是取出的下一条指令将是被调用子程序的第一条指令。

任何子程序的最后一条指令都是一个“返回”操作,这一条指令不需要指明地址,当处理器取出一条“返回”指令时,便将存放在堆栈顶部的地址送回程序计数器,这就能使处理器在子程序执行完毕后立即继续执行主程序。

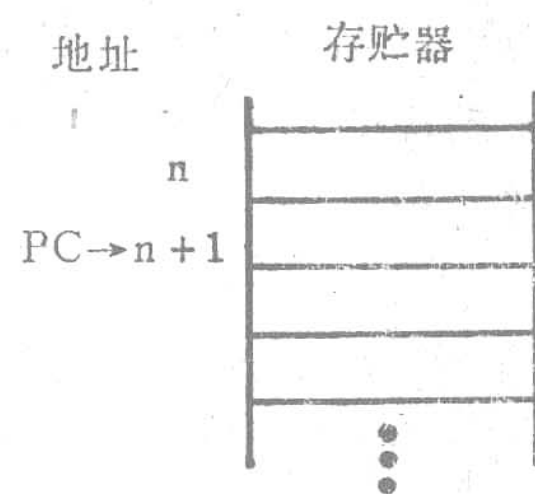


图 2-4 程序按步执行示意图

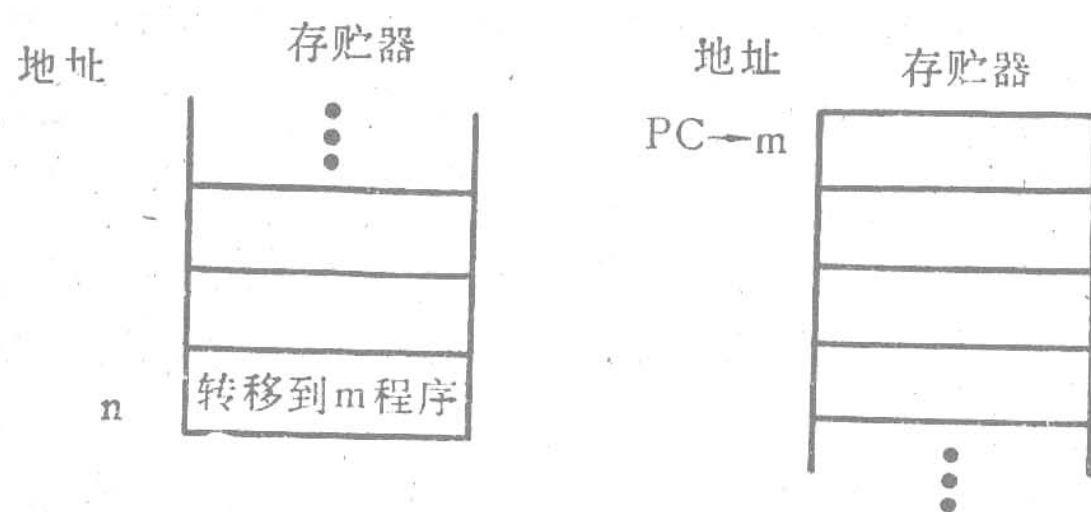


图 2-5 “移转”程序示意图

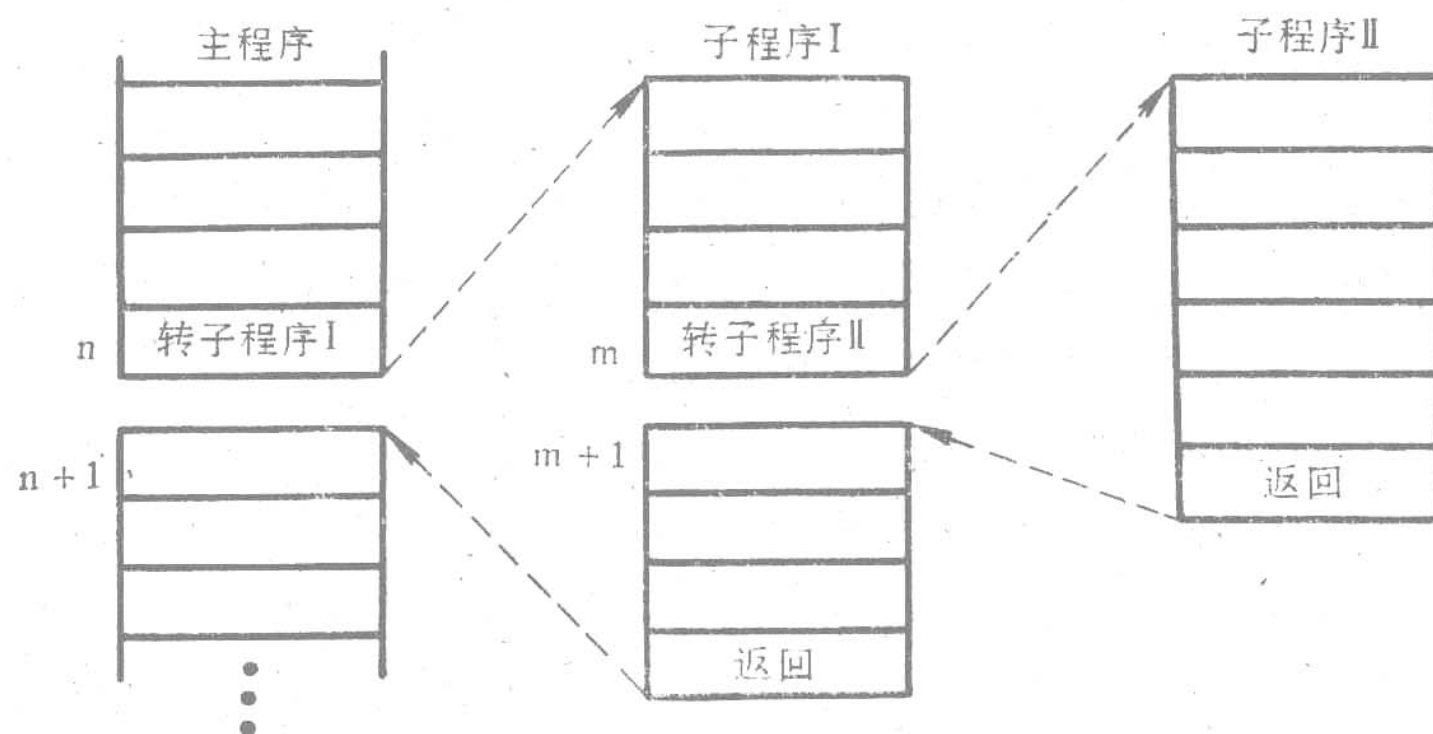


图 2-6 子程序“嵌套”示意图

子程序可以是“嵌套”的。有时在执行一个子程序当中又需调用第二个子程序，第二个子程序还可以调用第三个子程序，依此类推。这是不难解决的。只要存贮器具有足以存贮必要的返回地址的容量和备有这样做的逻辑条件就行了，换句话说，嵌套的深度取决于堆栈本身的深度。假若堆栈有存放三个返回地址的空间，子程序嵌套就可以达到三级，如图 2-6 所示。

各种处理器设置堆栈的方法不同，有些处理器将存放返回地址的地方就设在处理器内部。有些处理器则在存贮器中开辟一个指定区作为堆栈，而处理器内只设置一个存放堆栈最后输入地址的“堆栈指示器”（寄存器）。这种堆栈在理论上可做到无限多个子程序嵌套。另外，假若处理器设有“中断”或者“恢复”指令，能把累加器和其他通用寄存器的内容压入堆栈或者从堆栈中弹出，则可以实现多级中断处理。处理器的状态（即所有寄存器的内容）可以保留在堆栈里，然后接受中断。在中断处理以后，再恢复。即使中断服务子程序本身被中断了，也有保留处理器当时的状态的能力。

每台计算机都有一个表示这台机器特征的固定字长。计算机的字长通常由其内部存贮器的字长和互连通路（母线）的宽度来决定，例如，一台计算机，其寄存器能存放 8 位信息，其母线能传送 8 位信息，这台计算机就具有 8 位字长的特征，其中央处理单元称为 8 位并行处理器。8 位并行处理器通常处理 8 位二进制字段是最有效的。与这样的处理器相连的寄存器也要在每个可寻址的存贮单元里存放 8 位信息。数据和指令也是一个 8 位二进制数，或者是 8 位的整数倍数，如 16 位，24 位等，存放在存贮器的两个或三个单元里。这个表示机器特征的 8 位字段就叫“字节”。

计算机能够执行的每一项操作都由一个特定的字节数据来确定。每个特定的字节数据叫做“指令码”或“操作码”。用作指令码的一个 8 位字能够区分出 $2^8 = 256$ 种不同的操作，这对于大多数的处理器都是足够用的。

处理器在取一条指令时，首先将程序计数器中的地址送到存贮器。然后，存贮器将该地址存放的指令字节送回处理器。中央处理器将此指令字节存放在“指令寄存器”中。

存放在指令寄存器里的 8 位码经译码后有选择地启动许多条（最多达 256 条）输出线中的一条，每条线各表示与执行某一特定指令码有关的一组动作。被启动的这条线能够与指定的定时脉冲相配合产生出电信号，此电信号可用来启动指定的操作。将指令码转换成操作这个过程是由指令译码器和有关控制电路完成的。

一个 8 位指令码通常是足以用来规定某一指令的处理操作的。不过也有一些指令需要的信息比 8 位所能传递的信息多，那就要增加指令的字节数。例如当指令访问某一存贮单元时，除了基本指令码确定要执行的操作外，还要规定被访问目标的地址，这时就必须采用二字节或三字节指令。相连的指令字节存放在顺序排列的相邻的存贮单元里。处理器要连续取两个或三个字节，才能取出全部指令。由存贮器取出的第一个字节放在处理器的指令寄存器里，紧接着取出第二、三个字节放在临时使用的暂存器里，然后处理器再进入指令的执行阶段。这样的一种指令叫做“可变字长”指令。

中央处理器可以用“寄存器对”作为地址寄存器，用来保存将要访问的存贮单元地址。程序员可以利用指令来改变这个寄存器对中的内容。这样，便可以在执行一条访问存贮器的指令之前，利用程序先在“寄存器对”内“建立”一个地址，这种做法称为“变址”。