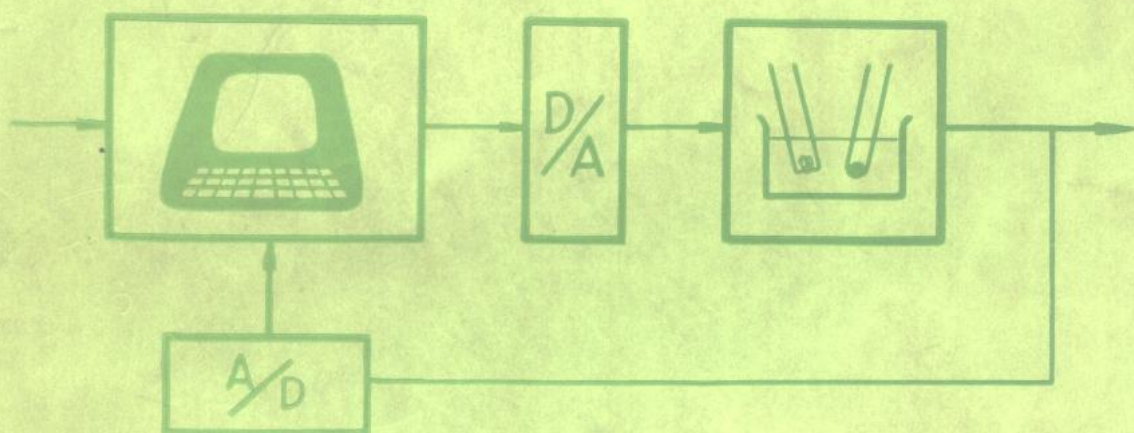


微处理器应用

—— 实时测试和控制

[美] D. M. 奥克兰德 P. 萨格斯 著



科学出版社

微 处 理 器 应 用

——实 时 测 试 和 控 制

〔美〕 D. M. 奥 斯 兰 德 P. 萨 格 斯 著

边 信 黔 蔡 鹤 皋 译

林 定 基 校

科 学 出 版 社

1 9 8 5

内 容 简 介

本书共分九章。第一、二章论述如何把微处理器作为工程系统的组成部分进行实时测试和控制。第三至九章列举了七个工程控制实例,即直流电动机转速控制、步进电动机位置控制、液体温度控制、混合系统温度和流量控制、自动称重系统、极坐标绘图仪和自动切料机等。通过这些实例,阐述了微处理器用于实时测试和控制的原理与技术,内容包括数字接口、A/D和D/A接口的应用技术,实时采样控制系统的设计方法,管理和控制用计算机之间通信的原理和程序设计,实时数据采样和图形处理方法以及如何用开发系统研制专用单板机控制器的设计过程。附录中给出各个实例的大量实用程序。

本书可作为大专院校有关专业的教学参考书,亦可供从事微型计算机实时应用的大学教师、研究生及工程技术人员参考。

David M. Auslander Paul Sagues

MICROPROCESSORS FOR MEASUREMENT AND CONTROL

Osborne/McGraw-Hill, 1981

微 处 理 器 应 用

——实时测试和控制

〔美〕D. M. 奥斯拉德 P. 萨格斯 著

边信黔 蔡鹤皋 译

林定基 校

责任编辑 李淑兰 孙月翮

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1985年4月第一版 开本: 787×1092 1/16
1985年4月第一次印刷 印张: 17 1/2
印数: 0001—25,000 字数: 400,000

统一书号: 15031·616

本社书号: 3785·15-8

定价: 4.10元

译 者 的 话

当前，微型计算机以其强大的生命力深入到科学技术和生产的各个领域，使得计算机应用技术进入崭新的发展阶段。进一步学习、使用和推广微型计算机技术是四化建设的迫切需要。

本书由美国加州大学贝克莱工学院机械工程系教授奥斯兰德和萨格斯所著。近年来奥斯兰德教授为研究生开设的一门新课——微型计算机在机械工程方面的应用就是以本书为教材。书中列举了七个典型的工程控制实例，由易到难，深入浅出地阐述了微型计算机在测试和控制领域中实时（Real-time）应用的原理和技术，具有宝贵的实用价值。附录中给出了很有参考价值的实例程序，适用于8080，Z80，8085 和 PDP-11 系列微型计算机。

本书第一、二、四、七、八章由蔡鹤皋同志翻译，第三、五、六、九章由边信黔同志翻译。在翻译过程中我们对原书中的笔误作了订正。

林定基同志对译文进行了认真的校阅，提出了宝贵意见。在此表示感谢。

由于译者水平有限，译文中难免有错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

译 者

1983年12月

原 序

本书阐述了微处理器在机械与生产设备中进行测量和控制时的作用。为此，我们采用了由简单到复杂的实例，逐步引入需要理解和使用的概念。我们设想，本书的读者既不具备微处理器硬件或软件的知识，也没有学习过机器语言或汇编语言的程序设计。但是，读者应具有科学用的高级语言程序设计的一些经验。

我们的实例研究不依赖于任何特定的语言或计算机，相反却着重研究与机器无关的解决问题的方法。但是，我们仍在附录中提供了实例的特定解法。这些解法是以汇编语言，FORTRAN，BASIC，PASCAL 或 C 语言写出的，适用于 8080/8085/Z80 系列的八位微处理器和 PDP-11/LSI-11 系列的十六位微处理器。

为了说明实例中的程序结构，我们介绍了转移图 (transition diagram) 的使用。我们发现，这种图用于控制问题极为方便。

本书不仅给出了为广泛使用的具体计算机系统而设计的，有说明且试验过的程序，而且还给出了实例中所用模型系统的原理图和特性指标。目的在于强调实践是获得微处理器系统设计技巧的主要途径。我们建议，把附录中的程序作为练习和试验的起点。通过从头至尾一系列实例的学习，读者便能切实地理解本书讨论的概念，并能检验各个不同程序的功能限度。然后，对程序进行改进设计并加入新的功能，书中的实例将得到发展和提高。如果读者按照第三至第七章的实例进行学习，可以相信，他一定能够获得足够的信心和技能去着手解决并实现类似的课题。

第一章扼要地介绍了书中所有的实例，说明微处理器在测量和控制中的用途。第二章讨论测量和控制系统中模拟和数字部分的信息和功率。第三章给出第一个实例，即对直流电动机的控制和对转速的测量。在这一章里，我们说明怎样用计算机的数字输入/输出端口去控制电机（用脉冲宽度调制信号），同时测量电机转速（用脉冲转速计）。第一个实例的全部程序是用高级语言编写的，目的是为了读者有更多的精力去学习两个基本概念：第一，怎样将微处理器与仪表、驱动设备相连接；第二，怎样使计算机与外部时间信号同步。

第四章以步进电机控制为例，介绍了机器语言和汇编语言程序设计的基本概念。本章讲述了 CPU（中央处理单元）的结构、内存的编排、指令编码以及调试/监督程序的使用。

第五章所介绍的温度控制实例是进一步研究可编程的输入/输出接口的阶梯。我们讨论了终端的使用方法，并研究允许操作员和控制程序对话而不影响控制过程进行的程序设计技术。为了说明 A/D 和 D/A 转换的基本原理，我们使用外接的积分型 A/D 转换器和梯形网络型 D/A 转换器。

冷热水混合系统，这个多变量控制问题是第六章研究的题目。在这个实例中，我们介绍应用中断来协调控制程序的时序以及操作员通过终端进行对话。标准的插件式模块被用作 A/D 和 D/A 转换。到第六章结尾，我们已介绍了大多数主要的寻址方式和指令

表中大部分指令。

在第七章中，为了满足自动称重系统的需要，将以前讨论的软件技术汇集到数据采集和实时图形显示研究中。我们设计了一个中断处理器，它将说明数据采集和显示程序的多任务性质。在不失去有效中断处理所要求的适应性的条件下，为了简化数据分析程序设计，我们使用高级语言和汇编语言相结合的程序设计方法。

与第三至七章的情况相反，第八章和第九章着重于微处理器系统的硬件和系统设计方面。为了说明如何用微处理器直接代替数字逻辑线路，我们重新回到步进电机控制问题上来。用微处理器软件代替分立逻辑电路，实现对步进电机绕组的控制。其应用是控制一个旋臂式数字绘图仪。同时还研究了涉及绘图仪画图速度、分辨率和图线质量的权衡设计问题。

第九章包括一个在生产机械中独立应用的单板计算机系统的完整设计过程。在这一实例中，计算机控制一台切割机。切割机的用途是从连续生产的材料上切割任意长度的材料。研究内容包括初始控制器的概念形成和设计、处理器的选择、程序设计、在线仿真开发系统和最终控制器的实现。

尽管著者已经非常认真地试验过每一个实例，但对读者引用这些实例时在人身、设备和器材等方面造成的任何损失，著者和出版者均不负任何责任。

在所有实例中用到的设备都是容易制造的。然而，即便没有这些设备，只使用常规的实验室设备，如示波器、信号发生器和运算放大器来进行这些实例学习和进一步改进，也可以得到收获。同理，任何计算机，无论最简单的还是最复杂的，都可以用于这些实例的学习，但最起码的条件是计算机系统应具备访问中断线的并行输入/输出端口。标准的实验室用的模拟/数字和数字/模拟转换器是很需要的，但也不是必不可少的。

D. M. 奥斯兰德

P. 萨格斯

目 录

译者的话

原序

第一章	工程系统的组成部件——微处理器	1
第二章	信息与功率	10
第三章	直流电动机的控制和测试	15
第四章	用步进电机进行位置控制	28
第五章	温度控制	43
第六章	冷热水混合系统控制	64
第七章	自动称重	77
第八章	极坐标绘图仪	97
第九章	自动切割机	113
附录	8080/8085/Z80和PDP-11/LSI-11	130

第一章 工程系统的组成部件——微处理器

在机械与过程控制系统中，灵活性是提高生产率与效能的关键。微处理器和小型计算机提供了一种内部智能，这种智能是工程系统为了能更有效的对各种不断变化的要求作出应答所必须具备的。计算机是取得灵活功能的最经济的办法，因为计算机的灵活性是固有的，即在系统中对于组件、简装件、改进件、甚至应急修理件都不必做任何实质性的改变就可以以最少的费用进行重新编程。

本书研究关于设计具有实时计算机系统的机械与过程控制装置的技术。我们用实时这一术语来定义这样一个计算机系统，即这一系统必须在规定的时间间隔中执行预定的任务，并对随时可能发生的外部事件作出反应。

为了了解实时控制与测试系统的设计，必须知道使计算机能与外部装置连接的方法和影响其相互作用的各种程序指令。为了提供这些资料，我们用一系列实例来说明这一实时系统的设计技术。通过每一个实例来分析小型或微型计算机在一般控制与测试的调节过程中的作用。

在每一个实例中都包括了为实现一定应用目的所需要的控制方法、计算机硬件、软件编程技术及程序结构的说明等内容。所有的程序说明均抛开所采用的特定计算机硬件程序语言，而着重分析各种程序元素的结构及其逻辑关系。特定的计算机、语言和处理器的实际应用结果可以在附录中找到。

下面我们说明一下在各个实例中将出现的系统，并介绍微处理器在测试与控制中的应用范围。

1.1 直流电动机转速的测量与控制

在机械工程系统中，直流电动机可以用来作为速度与位置的控制元件。如果电动机的转速是被控制的变量时，这一实例就要寻找一个解决控制计算机与直流电动机之间接口问题的方法。

对于一个电动机，最普通的控制信号是连续变化的电压或电流；然而，对于一台计算机，最普通的输入或输出信号则是量化为两个量级的信号，即开或关。在这一实例中我们研究在控制信号只有通、断两个值的条件下，如何用调制控制信号脉冲宽度的方法来实现电动机速度的连续控制。

这一实例所使用的实验装置如图 1.1 所示。具有恒频率及不同通、断时间比率的脉冲宽度调制信号如图 1.2 所示。图 1.3 给出了图 1.1 所示系统的响应曲线。因为电源控制器在每一周期中的脉冲间隔期间提供制动，所以占空比低约 50% 时，电机转速降到零。

电动机速度测量所提出的与电动机的控制相类似。电动机可以在任意速度下运转，一般测速器产生一个与速度成正比的电压。然而，正如我们所看到的一样，计算机最容易做到的是读入具有两个状态的信号。我们采用一个能产生脉冲频率调制信号的测

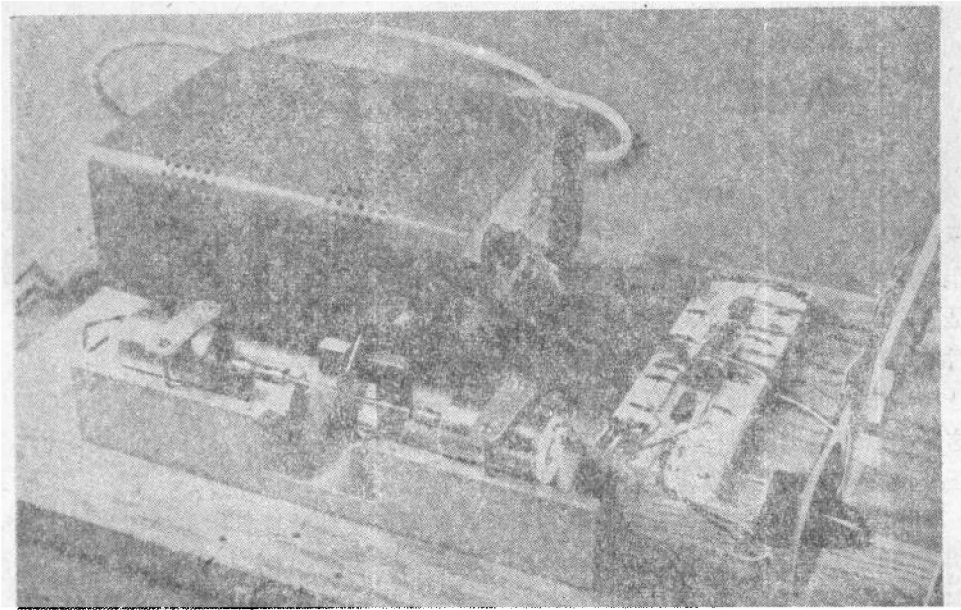


图1.1 直流电动机装置

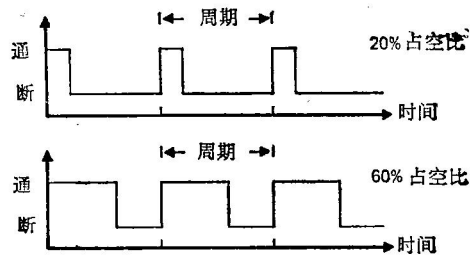


图1.2 脉冲宽度调制

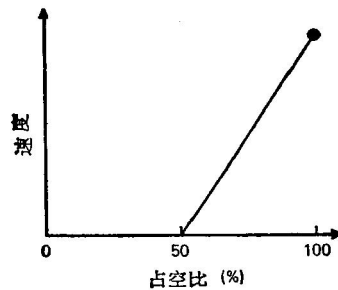


图1.3 直流电动机速度/占空比特性

速器来解决这一接口问题。当脉冲周期改变时，这种信号保持恒定的脉宽（常常是窄脉冲）。对所采用的产生脉冲的测速器来说，其脉冲频率正比于电动机的转速。计算机通过测量两个脉冲之间的时间长短来确定电动机的运转速度，或者通过记录在一定时间内的脉冲数目来直接计算电动机的转速。脉冲是用光电原理产生的，如图 1.4 所示。

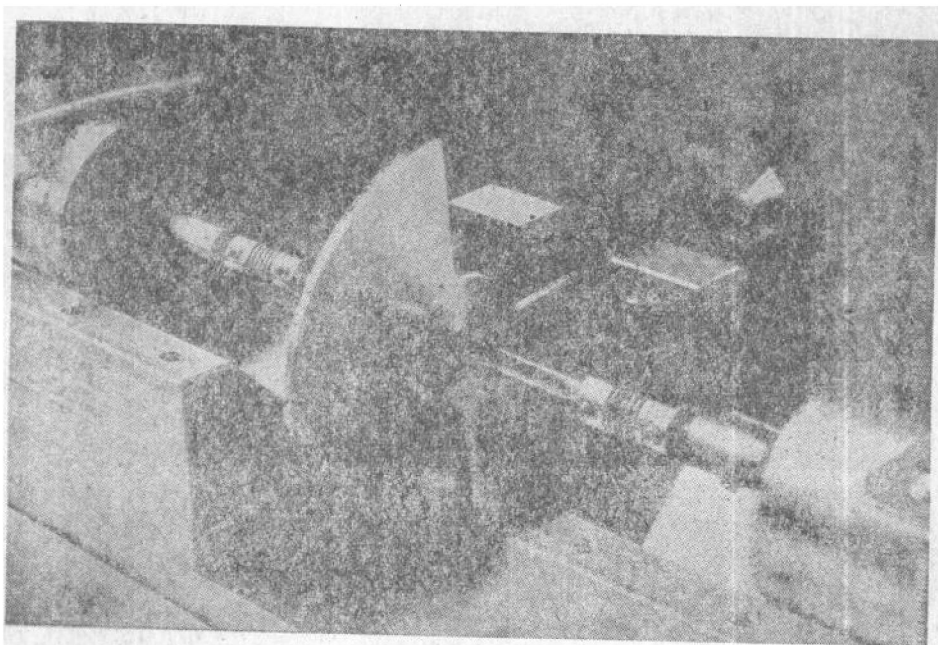


图1.4 产生脉冲的测速器

1.2 用步进电动机进行机械定位

计算机与电动机接口问题的另一个解决方法是用一种具有更适应于计算机控制特点的电动机。如步进电动机就是一种特别适用于这一目的的同步电动机。因为它可以用一个只需对逻辑信号（两种状态）作出响应的功率放大器来控制，而这种逻辑信号是很容易由计算机产生的。一个步进电动机具有几个绕组，它们可以用通-断信号按适当的次序激励，每改变一次激励状态，电动机便走一步，从而使电动机按一个预定的位置次序进行运动。如果没有超过负荷，则在改变激励而使电动机走另一步之前，电动机将保持一个固定的位置。每一步的大小取决于电动机的结构。由于电动机的位置总是可以由其激励次序预先确定，所以在正常操作时它不需要位置测量装置。步进电机与同样功率的直流伺服电机比较，其主要缺点是速度的限制以及由于电机步进的不平滑运动而造成的高阶振动。

在这一实例中，由于采用这种控制器，计算机的控制任务甚至比上面所说明的更简单。图 1.5 所示的实验装置是一个带有惯性负载的步进电机和一个控制箱，箱内装有一个功率放大器与一个硬连线逻辑电路，这个逻辑电路接受来自计算机的简化了的命令信号。由计算机接到控制器的导线中，一根是用于确定旋转方向，另一根是脉冲输入线。每当从脉冲输入线得到一个脉冲时，控制电路便改变一次线圈激励次序，从而使电机在按方向控制信号所规定的方向上走一个步距。计算机以接通某一导线，然后再断开的方法产生脉冲，对脉冲宽度的要求是不严格的。

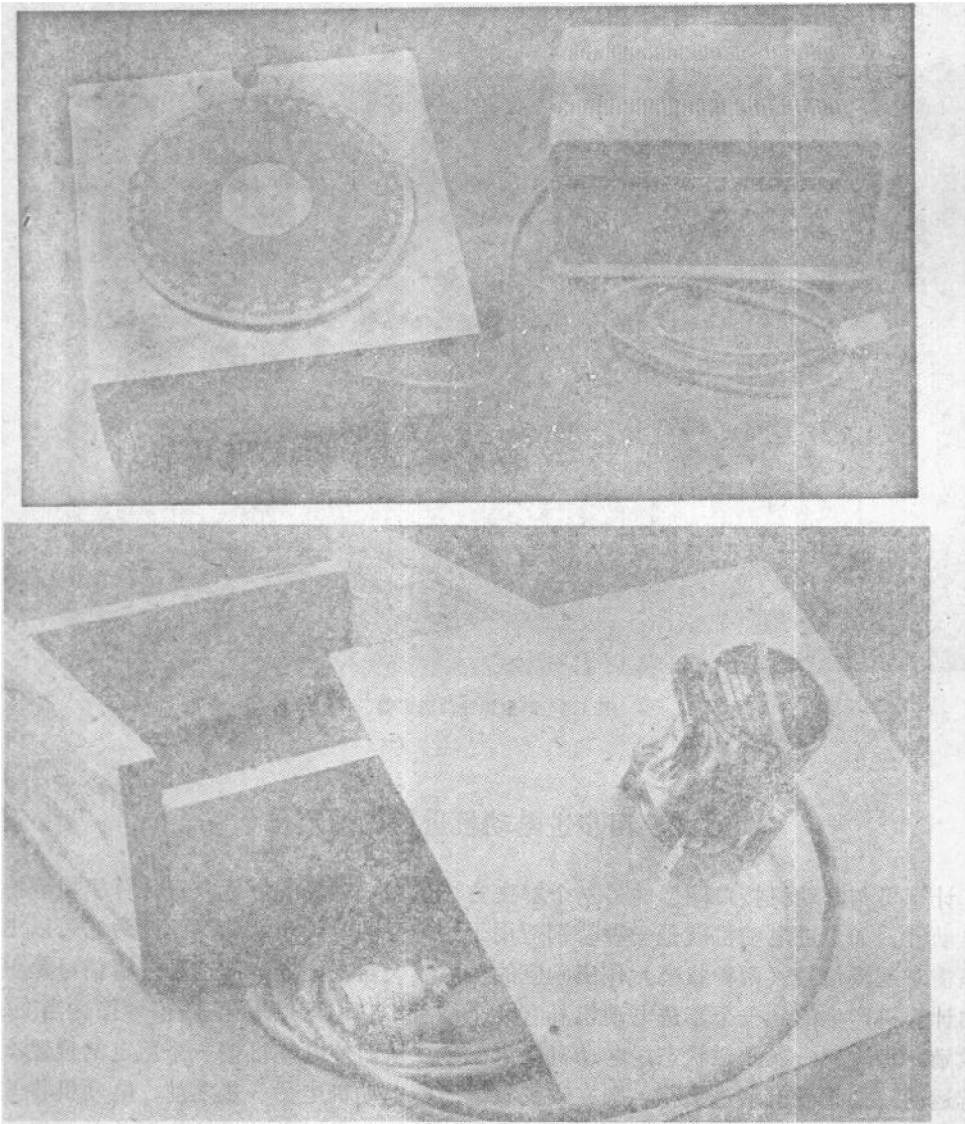


图1.5 步进电机系统

1.3 温度控制

考虑到当前许多家庭已采用加热系统，所以温度控制系统应该是现有人造反馈控制系统中最常用的一种。在这一实例中，我们研究一个液体容器的温度控制问题，如图1.6所示。用浸入式电阻加热器，可以将热量加到液体中去。热能加入率等于在电阻上消耗的电功率，它大致正比于加到电阻上的电压的平方。温度测量是用一个输出电压正比于温度的热敏半导体管来测量的。我们拟用微处理器来实现一个能将温度保持在某一期望值的反馈控制系统。

在前述实例中，我们讨论了如何改善控制方法和测量元件来解决系统机械方面的连

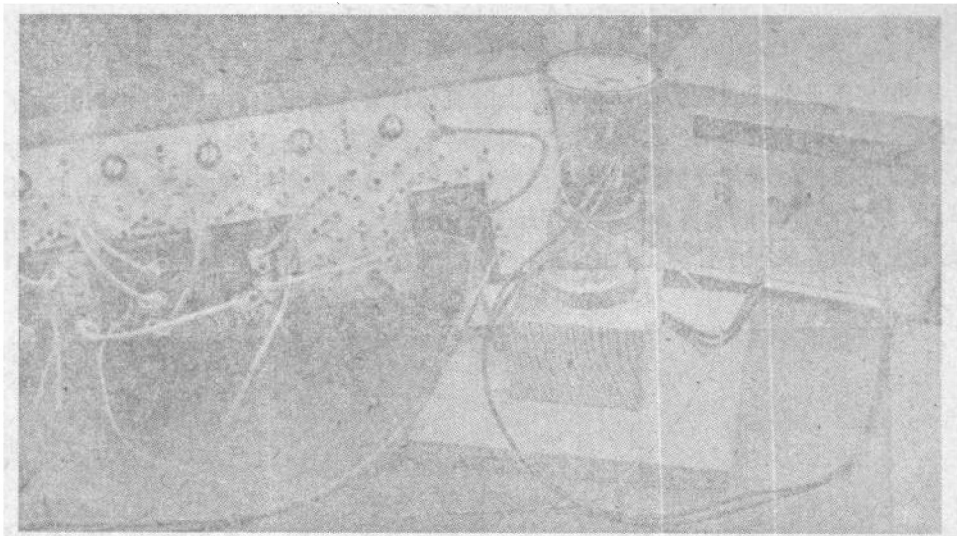


图 1.6 液体容器温度控制

续变量以及计算机方面的数字量之间的接口问题。在直流电动机实例中，我们说明了调制信号的用途。在步进电机实例中，我们采用了一个能够直接对逻辑信号做出响应的控制元件。通过引入模/数和数/模转换器，温度控制实例使得接口与系统的计算机一侧联系更紧密。这种模/数与数/模转换器能在连续（模拟）电压及计算机中储存的数字之间进行往返转换。这样，用一个数/模转换器（DAC 或 D/A）计算机就可以将数字转换为电压，然后将这个电压送到功率放大器，用来开动加热器。为了将这一回路闭合起来，用温度传感器产生一个正比于液体温度的电压。这一电压通过模/数转换器（ADC 或 A/D）转换成数字量。存放在计算机中的程序利用这一信息为加热器计算出下一个指令信号。

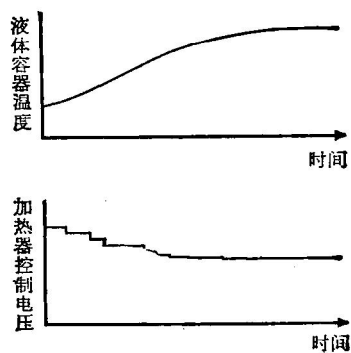


图 1.7 对改变温度设定点的响应

图 1.7 给出了一个典型的温度变化响应曲线。指令电压变化的陡度是由系统中使用的 DAC 的精度决定的。

1.4 液 流 混 合

很多工业处理过程需要将两种以上的流体材料连续地混合起来。我们以图 1.8 所示的系统做为混合过程的实验模型，它利用两个泵将热水与冷水混合起来。在下游混合点处测量液流的温度与流量。控制的目标是保持流量与温度两者在期望值上。DAC 与 ADC 接口将计算机与混合系统连接起来，在流量与温度测量的基础上，一个简单的多变量控制的算法程序计算出泵的指令信号。典型的响应曲线见图1.9。



图1.8 混合系统

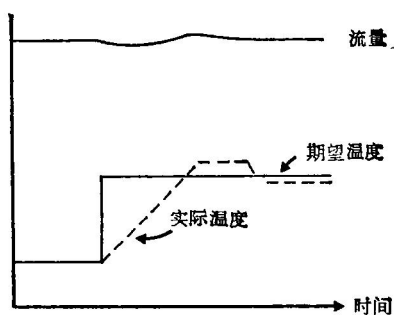


图1.9 混合系统对温度预定值改变的响应

1.5 自动 称 重

在这个实例中，我们离开过程控制范畴而去研究一下自动化生产。在加工过程中一次或更多次的称重是散件生产中的一般性任务。用计算机控制的称重可以将重量的测量

与各种各样的功能结合起来，其中包括与工厂管理计算机的通讯。

图1.10给出计算机控制的秤。对正在秤上的物品的重量及最近称过的一批物品的重量分布都显示了出来。

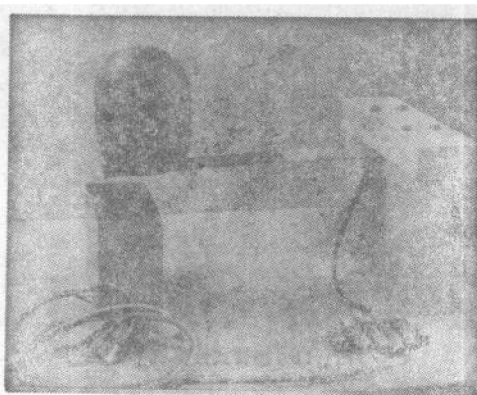


图1.10 称重系统

在操作中，计算机自动检测被称物品是否存在，并将来自秤的重量信号通过数字滤波确定下来；随后在读出装置上显示出重量，并在图形显示器上将当前的重量分布图加以更新。根据时间或计算机所指示的称量已完成信号，移开被称物品，然后重复这一循环。必要时，计算机可以给出执行信号，将物品按重量分类。

这种双重显示给操作者以关于从秤的上道工序供给的原材料状况或加工状况的各种信息。当出现分布曲线位移的细微改变时（这时需要对机器进行调整），重量显示便提醒操作者及时注意是否在进料上有改变或有较大故障，以避免产品全部损坏。

从称重控制计算机传递到工厂管理计算机的信息都可以用于诊断及编辑管理信息，致使工厂生产过程最佳化。按另一个方向传递的信息，即从管理计算机传递到称重控制计算机的信息，可以在称重控制计算机中用来改变内部参数或逻辑。所以它能适应产品性能的改变。

1.6 摇臂式笔绘图机

商业提供的笔绘图机是用X-Y直线运动来移动笔，它有一个控制X运动的电机和一个控制Y运动的电机。如图1.11所示，我们选择一种用一个电机控制径向运动，而用另一个电机控制角度运动的结构。这种结构比X-Y结构易于制造，但是计算量却要大很多。由于当前计算费用正在惊人地下降，这使我们的研究在经济上更加合算。

由于在这个实例中用了两个步进电机去驱动两个轴，所以比前面的步进电机实例更能彻底地研究这一被广泛应用的元件的操作过程。特别是研究如何用软件代替硬件逻辑电路来编排电机绕组激励次序以及探索如何实现更平滑、更快和更精密的步进电机动作。

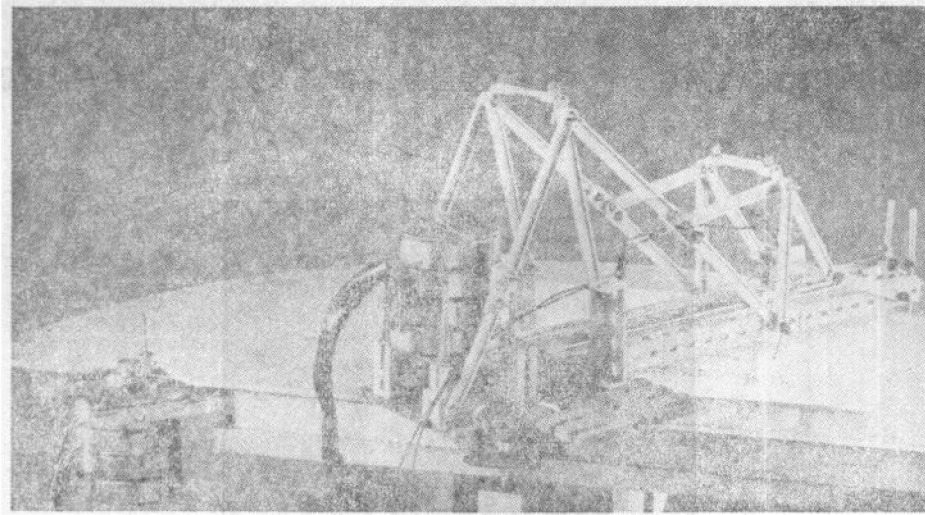


图 1.11 摇臂式绘图机

1.7 切割机的微处理器控制器

作为最后一个实例，在切割连续长度材料的生产过程应用方面，我们研究一个典型的采用微处理器控制器的完整设计过程。这个设计过程是用微处理器系统控制一台机器，把材料切割成预定的长度。

设计过程的开始是，确定任务、确定满足操作要求的程序结构和各类接口的技术条件。这些接口使微处理器能从机床传感器中读到信号，并能产生正确的驱动信号。我们对设计步骤进行研究，并对用微处理器系统控制的各种机床的优点加以讨论。其次，用通用开发系统对原始程序进行调试。为了试验这个程序，我们采用了一个实际切割机的机械模拟器，如图1.12所示。根据情况，模拟器可以从机床本身到纯软件仿真的任何一

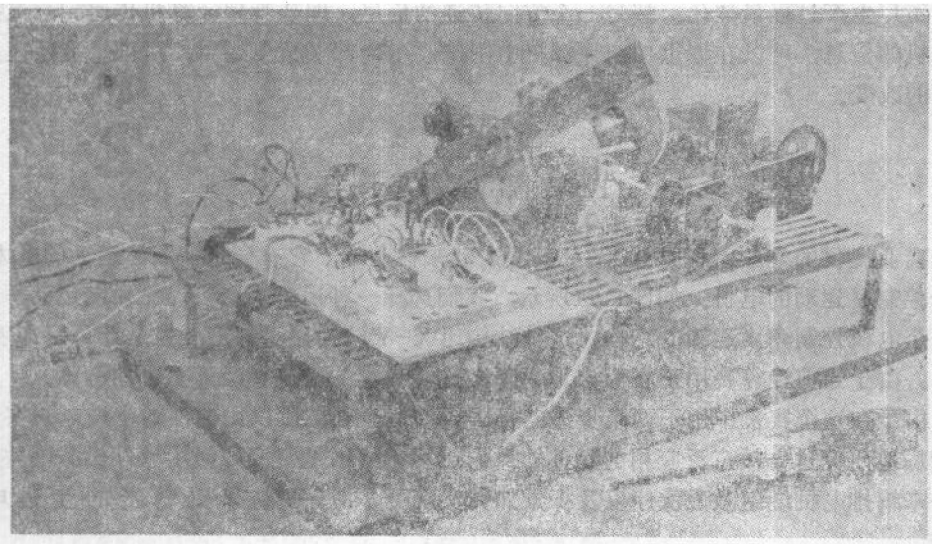


图 1.12 切割机模拟器和开发计算机

种形式。经过调试和改进程序之后，我们便具备了足够的信息来着手设计适合我们应用目的的专用微处理器系统样机。图1.13示出切割机和样机控制板。

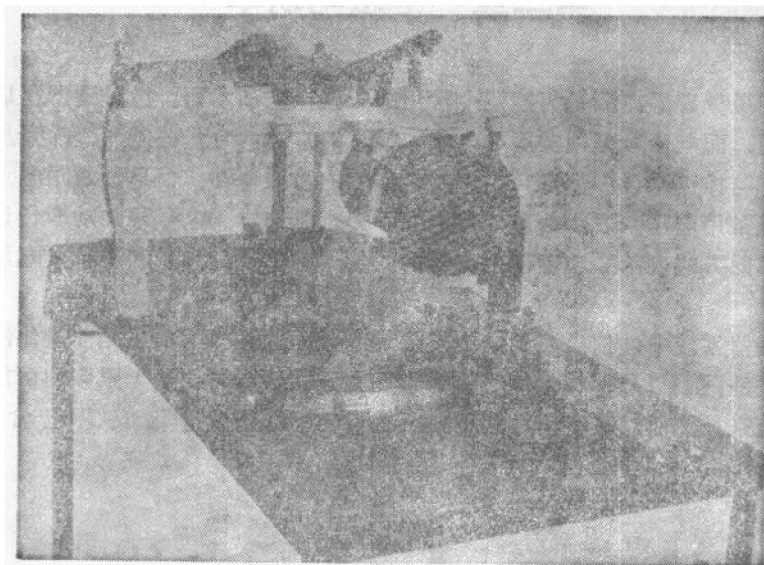


图1.13 切割机及控制器

第二章 信息与功率

本章介绍微处理器在测量与控制中常用的一些概念和术语。微处理器是以电的形式与外界联系的，而电信号是用电压与电流来描述的。这两个量的乘积表示所传递的功率。对于计算与控制来说，信息与功率是电信号的重要特性。信息通常用电压或电流表示。实际上经常用电压来表示信息，但也并不完全是这样。电信号的功率传递能力可以用以下三种不同方式表示：功率单位、辅助变量（它不带信息）和阻抗（电压被电流除的数值）。

在微处理器系统中，信息表示成为**模拟的**或**数字的**。模拟信息是非量化的；就是说，除了噪声影响的限制以外，模拟信号的分辨率允许在任意时刻从无限多的可能数值中识别出一个数值来。然而，数字信号几乎在所有情况下都是被量化成只包含两个可能的值。

2.1 模拟信号

功率级是模拟信号最重要的特性。功率经常用电压与电流来表示，或者用这两个信号变量之一再加上某种功率表达式来表示。除了电源以外，所有模拟信号都具有信息和功率这两个部分。这些信号分成两类：为表示功率而取值的信号和为表示信息而取值的信号。

功率信号用于驱动，而且可以覆盖电压与电流的很宽变化范围。它们可以是对地的，也可以是**浮动的**（线与线之间测得的电压）。信息信号分为三级，按幅值大小为： $1V$ 或 $1V$ 以上的高电平信号，例如从放大器或其它信号调节设备得到的信号；毫伏级的低电平信号，如热电偶给出的信号；以及微伏级的超低电平信号，其典型的例子是各种晶体式仪器的信号。属于浮动信号类的信息信号叫做**差分信号**。两个信号线的代数平均值叫**共模电压**。当系统在不同点接地时，由于接地电位的不同，会导致所谓的**接地回路**，它将使测量系统的正常工作遭到破坏，特别是在使用长导线的时候。

对于信息类信号，信息流是单向的：从发送器（或驱动器）到接收器。功率流几乎总是与此方向相同。在此系统中常常用阻抗来表示对功率的要求。阻抗将电压的变化表示为电流变化的结果，应用阻抗特性可以表明电压是携带信息的参量。需用两个阻抗来表明一对发送器与接收器的功率特性。发送器的输出阻抗，说明发送器可以提供多大功率。很低的输出阻抗，代表功率输出能力大，因此，即使电流有相当大的变化，也不会对（携带信息的）电压造成影响。接收器的输入阻抗表明接受器处理信号需要多大的功率。非常高的输入阻抗，说明对信号进行处理的功率要求低，因为电压的显著变化决不会造成接收器对电流需要的显著变化。

为了将发送器与接收器严格地匹配，应注意到实际系统还受其响应速度的限制。信号的瞬时特性可能象它们对功率的要求一样重要。这种特性通常用**频谱**或**频率特性表**